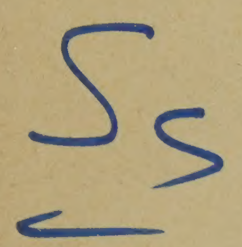
ADMINISTRATION DES MINES — BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

Annales des Mines

DE BELGIQUE





Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

Direction - Rédaction :
INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES EXTRACTIVES

Directie - Redactie :
NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN

4000 LIEGE, 200 rue du Chéra — Tél. (041) 52 71 50

Journée des Carriers organisée par l'INIEX à Liège, le 30 mars 1977. - Dag van de Groeve-Ontginners georganiseerd door het NIEB te Luik, op 30 maart 1977 : Exposés de - verslagen door : J. BOXHO, Ph. DUMONT, R. BONSANG, Y. DURAND, E. MARECHAL, J. BRICTEUX, C. MICHAUX. — J.P. MASSIN : Concentration de la cassitérité par flottation. INIEX : Revue de la littérature technique. — Bibliographie.

OCTOBRE 1977 — Mensuel — N° 10 — Maandelijks — OKTOBER 1977

ADMINISTRATION DES MINES — BESTUUR VAN HET MIJNWEZEN

Annales des Mines

DE BELGIQUE



Annalen der Mijnen

VAN BELGIE

Direction - Rédaction :

INSTITUT NATIONAL DES INDUSTRIES EXTRACTIVES

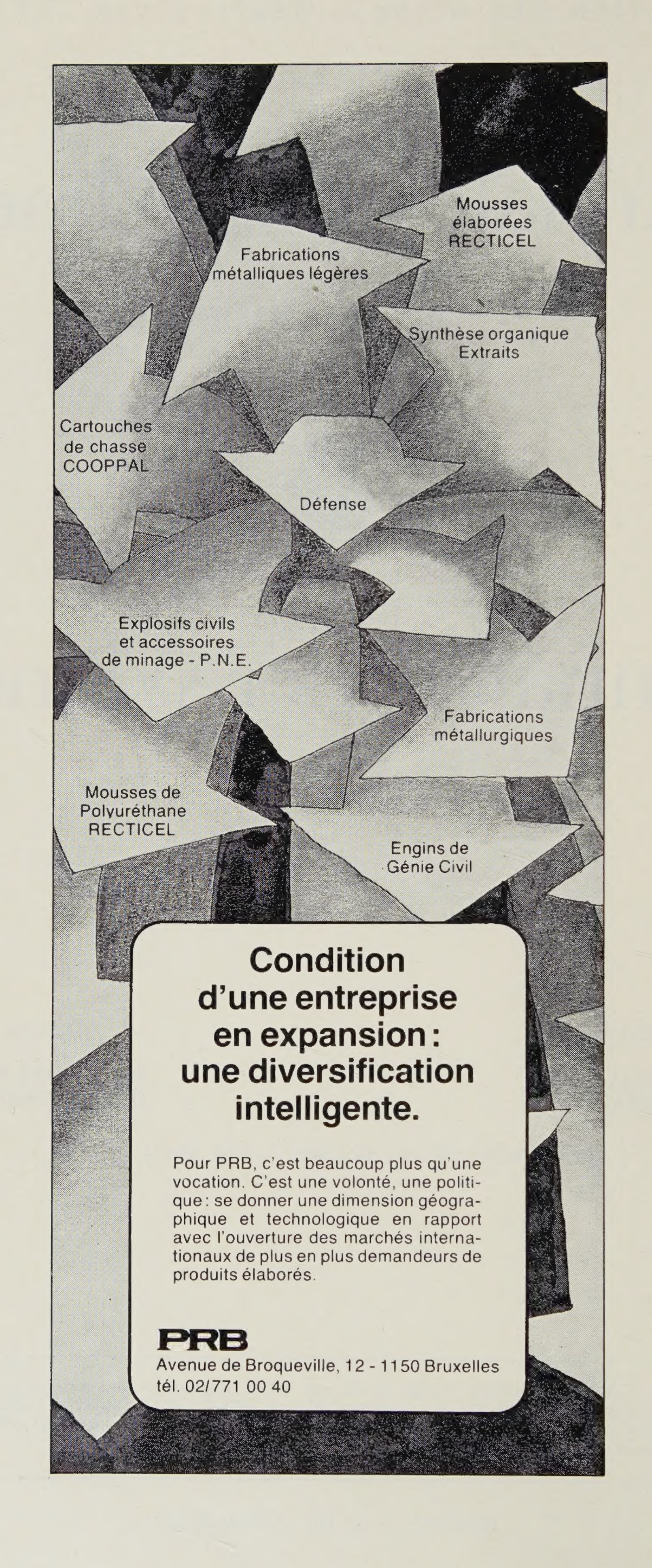
Directie - Redactie :

NATIONAAL INSTITUUT VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN

4000 LIEGE, 200 rue du Chéra — Tél. (041) 52 71 50

Journée des Carriers organisée par l'INIEX à Liège, le 30 mars 1977. - Dag van de Groeve-Ontginners georganiseerd door het NIEB te Luik, op 30 maart 1977 : Exposés de - verslagen door : J. BOXHO, Ph. DUMONT, R. BONSANG, Y. DURAND, E. MARECHAL, J. BRICTEUX, C. MICHAUX. — J.P. MASSIN : Concentration de la cassitérité par flottation. INIEX : Revue de la littérature technique. — Bibliographie.

OCTOBRE 1977 Mensuel — N° 10 — Maandelijks OKTOBER 1977


Mousses élaborées RECTICEL
Fabrications métalliques légères
Synthèse organique Extraits
Cartouches de chasse COOPPAL
Défense
Explosifs civils et accessoires de minage - P.N.E.
Fabrications métallurgiques
Mousses de Polyuréthane RECTICEL
Engins de Génie Civil
Condition d'une entreprise en expansion : une diversification intelligente.
Pour PRB, c'est beaucoup plus qu'une vocation. C'est une volonté, une politique : se donner une dimension géographique et technologique en rapport avec l'ouverture des marchés internationaux de plus en plus demandeurs de produits élaborés.
PRB
Avenue de Broqueville, 12 - 1150 Bruxelles
tél. 02/771 00 40

ANNALES
DES MINES
DE BELGIQUE

n° 10 — octobre 1977

ANNALEN
DER MIJNEN
VAN BELGIE

nr. 10 — oktober 1977

Direction-Rédaction :
**INSTITUT NATIONAL
DES INDUSTRIES EXTRACTIVES**

Directie-Redactie :
**NATIONAAL INSTITUUT
VOOR DE EXTRACTIEBEDRIJVEN**

4000 LIEGE, 200, rue du Chéra — TEL. (041) 52 71 50

Sommaire - Inhoud

Journée des Carriers organisée par l'Institut National des Industries Extractives à Liège, le 30 mars 1977

Dag van de Groeve-Ontginners georganiseerd door het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven te Luik, op 30 maart 1977

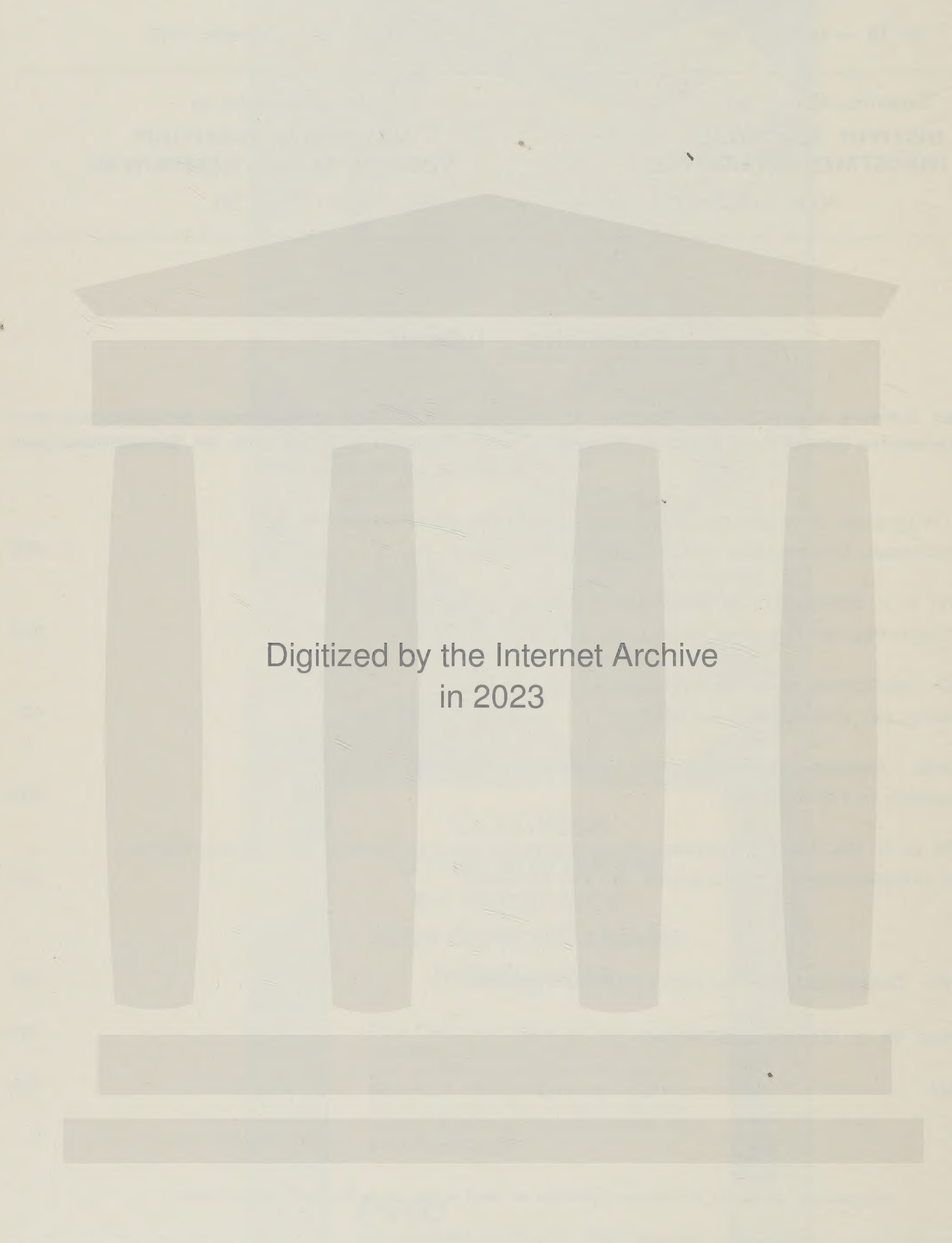
EDITION - ABONNEMENTS - PUBLICITE - UITGEVERIJ - ABONNEMENTEN - ADVERTENTIES

1050 BRUXELLES • EDITIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES • 1050 BRUSSEL

Rue Borrens, 35-43 - Borrensstraat — TEL. 640 10 40

Dépôt légal : D/1977/0168

Wettelijk Depot : D/1977/0168



Vibrations dues aux tirs
Critères de dégâts et environnement

Schiettrillingen
Criteria voor beschadiging en leefmilieu

J. BOXHO*

SOMMAIRE

INHOUD

* Ingénieur Civil des Mines à l'INIEX

* Burgerlijk Mijningenieur bij het NIEB

ÜBERSICHT

SUMMARY

---

0. *INTRODUCTION*

Ce rapport a pour objet de présenter *trois projets* de normes concernant les vibrations : un allemand, un français et un international.

Mais auparavant, il convient de dire quelques mots à propos des paramètres mesurables des vibrations (§ 1) et de rappeler ce qui se pratique en Belgique (§ 2).

1. *PARAMETRES MESURABLES DES VIBRATIONS*

L'effet d'un choc de tir agit sur un système vibrant (sol + construction) très brièvement par rapport à la période d'oscillation propre de ce système. Il ne dépend que de la valeur maximale de l'impulsion, et non de l'évolution de la vibration dans le temps.

0. *INLEIDING*

In dit verslag worden *drie ontwerpen* van normen inzake trillingen voorgesteld : een Duits, een Frans en een internationaal.

Vooraf toch enkele woorden over de meetbare parameters van de trillingen (§ 1) en over hetgeen momenteel in België wordt toegepast (§ 2).

1. *MEETBARE PARAMETERS VAN DE TRILLINGEN*

De inwerking van een door een schot veroorzaakte schok op een trillend systeem (grond + gebouw) is zeer kort ten opzichte van de eigen trillingstijd van dit systeem. Ze is enkel afhankelijk van de piekwaarde van de impuls en niet van de evolutie van de trilling in de tijd.

			Ordre de grandeur *Grootte-orde*
Déplacement maximal : *Maximale verplaatsing :*	: A	(de $a = A \sin 2 \pi f t$) *vanaf*	0 - 500 μ
Vitesse maximale : *Maximale snelheid :*	: $V = 2 \pi f A$	(de $v = \frac{d\,a}{dt}$) *vanaf*	0 - 100 mm/s
Accélération maximale : *Maximale versnelling :*	: $G = 4 \pi^2 f^2 A$	(de $a_c = \frac{d^2a}{dt^2}$) *vanaf*	
Vitesse résultante maximale : *Maximale resulterende snelheid :*	: $\hat{V}_R = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$		
f = fréquence de la vibration / *trillingsfrequentie*			10 à 80 Hz

« Paramètres de la vibration » Fig. 1 *Trillingsparameters*

Or, durant ce bref instant où elle atteint sa valeur maximale, la vibration peut être assimilée à une sinusoïde en vertu de la décomposition en harmoniques de Fourier.

Nous indiquons sur la figure 1 la longueur V_R du vecteur vitesse résultant, parce que la vitesse résultante est donnée par certains appareils de mesure.

Tijdens dit korte ogenblik waarop ze haar maximale waarde bereikt, kan de trilling worden beschouwd als een sinusoïde, volgens de ontbinding in harmonische componenten van Fourier.

Op figuur 1 is de lengte V_R van de resulterende vector snelheid aangeduid, daar de resulterende snelheid door bepaalde meettoestellen aangegeven wordt.

2. *CRITERES ACTUELS EN BELGIQUE*

2.1. *Cas généraux*

En l'absence de normes belges ou internationales, l'INIEX s'est basé sur les travaux américains et suédois, tout comme l'avait fait auparavant le Centre de Recherche pour l'Industrie des Produits Explosifs (CRIPE).

D'après ces travaux, pour les tirs en carrière :
- c'est la vitesse de vibration qui caractérise le mieux les dégâts aux constructions ;
- la composante verticale de la vitesse est en pratique toujours la plus élevée, donc la plus dangereuse, mais aussi la plus précise à mesurer ;
- la valeur de 50 mm/s (fig. 2) peut être choisie comme limite supérieure des vitesses qui ne créent aucun risque de dégât pour des constructions moyennes, normalement entretenues.

2. *HUIDIGE CRITERIA IN BELGIE*

2.1. *Algemeen*

Bij gebrek aan Belgische of internationale normen, heeft het NIEB zich gebaseerd op Amerikaans en Zweeds onderzoekswerk, zoals het « Centre de Recherche pour l'Industrie des Produits explosifs » (CRIPE) vroeger had gedaan.

Volgens dit onderzoekswerk kan voor het springwerk in groeven worden gesteld dat :
- de trillingssnelheid het best de beschadiging van gebouwen kenmerkt ;
- de verticale snelheidscomponent in de praktijk steeds de grootste, dus de gevaarlijkste, maar ook de nauwkeurigst meetbare component is ;
- de waarde van 50 mm/s (Fig. 2) kan worden gekozen als bovengrens van de snelheden die geen gevaar betekenen voor beschadiging van gemiddelde, normaal onderhouden gebouwen.

Signalons cependant qu'on n'a jamais atteint 50 mm/s dans aucune habitation lors d'enregistrements de vibrations.

A titre de comparaison, on peut signaler, toujours selon les mêmes travaux (fig. 2), que :

— au-delà de 50 mm/s, apparaissent des dégâts légers (fissures dans les plâtres) ;
— entre 100 et 200 mm/s, des dégâts moyens à importants (fissures dans les murs) ;
— à environ 250 mm/s, de petites fissures dans les massifs rocheux, des chutes de pierres en galerie.

Het dient evenwel aangestipt dat in geen enkele woning ooit 50 mm/s werd bereikt bij het meten van trillingen.

Ter vergelijking weze vermeld dat, steeds volgens dezelfde bronnen (Fig. 2) :

— boven 50 mm/s lichte beschadiging wordt vastgesteld (barsten in het pleisterwerk) ;
— tussen 100 en 200 mm/s, matige tot grote beschadigingen voorkomen (barsten in de muren) ;
— bij ongeveer 250 mm/s, kleine barsten in rotsmassieven en steenval in de galerijen worden waargenomen.

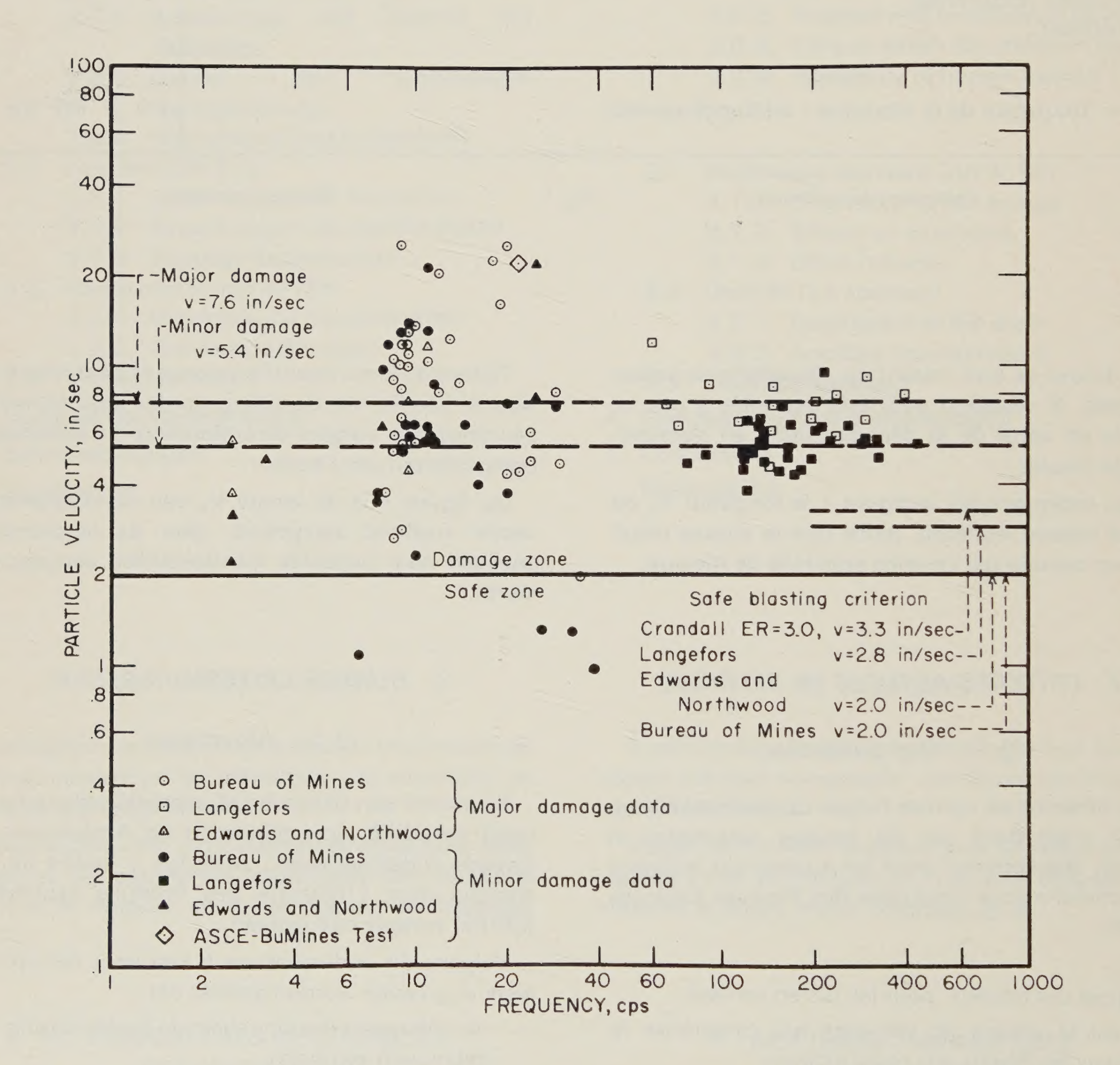


Fig. 2

Vitesses de vibration mesurées (en pouces) (1) en fonction de la fréquence de la vibration. Limites de sécurité et de dégâts.
Gemeten trillingssnelheden (in duim) (1) in functie van de trillingsfrequentie. Veiligheids- en beschadigingsgrenzen.

— Major damage = Dégâts importants = *Grote schade*
— data = données = *gegevens*
— Damage (safe) zone = Zone de dégâts (de sécurité) = *Beschadigingszone - veiligheidszone*
— Safe blasting criterion = Critère de sécurité du minage = *Criterium voor veilig springwerk*
— Particle velocity = Vitesse de vibration = *Trillingssnelheid*
— Frequency, cps = Fréquence en Hz = *Frequentie in Hz*
— in = 25,4 mm = *duim.*

Remarques

1°) Les vitesses de vibration sont mesurées sur la fondation, à l'extérieur de la construction. Toute mesure à l'intérieur, surtout aux étages (fig. 3), serait amplifiée par l'élasticité de la construction, élasticité qui lui permet en même temps de résister à la vibration. Les vitesses de vibration pourraient ainsi être multipliées par 3 à 8, en cas de mise en résonance. En effet, la fréquence propre d'un plancher atteint :

— environ 10 Hz, si ce plancher est vaste et chargé ;
— environ 30 Hz, si ce plancher a une faible superficie ou est peu chargé.

En direction horizontale, la fréquence propre d'une construction peut être approximativement calculée par la formule :

$fp = 10/n$ (en Hz), n étant le nombre d'étages.

Elle est donc faible.

2°) Parmi les diverses charges d'explosif, la charge de la volée la plus chargée s'avère la plus significative vis-à-vis de la vitesse de vibration, du moins dans la gamme des charges habituelles en Europe Occidentale.

Bemerkingen

1°) De trillingssnelheden worden op de fundering, buiten het gebouw, gemeten. Metingen in het gebouw, vooral op de verdiepingen (fig. 3) zouden worden versterkt door de elasticiteit van het gebouw, die het terzelfdertijd ook in staat stelt de trillingen op te vangen. De trillingssnelheden zouden aldus, bij resonantie, kunnen worden vermenigvuldigd met 3 tot 8. Inderdaad bereikt de eigen frequentie van een vloer :

— ongeveer 10 Hz, indien de vloer een grote oppervlakte heeft en belast is,
— ongeveer 30 Hz, indien de vloer een kleine oppervlakte heeft of slechts licht belast is.

In de horizontale richting kan de eigen frequentie van een gebouw bij benadering worden berekend volgens de formule :

$fp = 10/n$ (in Hz), waarin n het aantal verdiepingen voorstelt.

Deze frequentie is dus laag.

2°) Tussen de verschillende springstofladingen blijkt de lading van het sterkste salvo de meest kenmerkende t.o.v. de trillingssnelheid, althans in de gamma van de in West-Europa gebruikelijke ladingen.

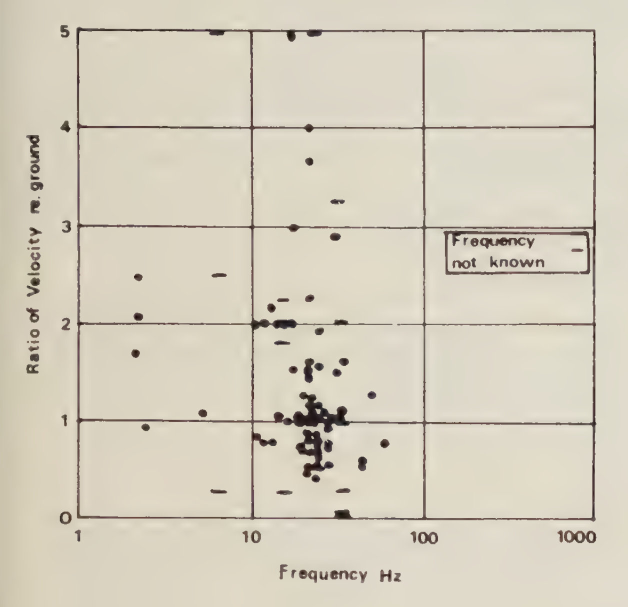


Fig. 3
Amplifications nettes de la vibration du sol dans des résidences, des cathédrales et des églises. Selon House (1973).
Kenmerkende versterkingen van de grondtrilling in woongebouwen, kathedralen en kerken. Volgens House (1973).
— Ratio of velocity re.ground
= Rapport entre la vitesse de vibration mesurée et celle du sol
= *Verhouding tussen de gemeten trillingssnelheid en die van de grond*
— Frequency not known = Fréquence non connue = *Frequentie onbekend*

2.2. *Cas particuliers*

Ce sont tous les cas pour lesquels le niveau de sécurité des vibrations ou la charge admissible d'explosif doit être déterminé par des essais.

2.2. *Bijzondere gevallen*

Het gaat hier telkens om gevallen waarvoor de veiligheidsdrempel van de trillingen of de toelaatbare springstoflading proefondervindelijk dienen bepaald.

2.2.1. *Appareillages électriques*

Certains relais, notamment dans des centrales électriques, s'avèrent très sensibles aux vibrations.

Généralement, le constructeur fixe lui-même le niveau de sécurité, sous forme d'une fraction de l'accélération *g* de la pesanteur (par exemple 0,6 g).

D'après les quelques mesures que nous avons pu faire, ces niveaux correspondent bien, pour les fréquences rencontrées, à la limite de 5 mm/s généralement respectée en R.F.A. pour la vitesse de vibration dans les centrales électriques.

2.2.2. *Laboratoires*

Ici encore, étant donné la variété des cas, il incombe aux constructeurs et dirigeants de fixer les limites à respecter envers certains appareils délicats.

2.2.3. *Grottes*

Il est impossible de fixer une vitesse-seuil par rapport à des grottes, car la résistance d'une excavation souterraine sans soutènement dépend de bien d'autres facteurs que la nature de la roche ; elle varie très fortement d'un endroit à l'autre et dans le temps. Le fait que le tir ait lieu dans le même banc rocheux que celui de la grotte ou au contraire dans d'autres bancs revêt une grande importance.

Enfin, suite aux mesures dans les grottes calcaires de Hampteau, nous constatons qu'il existe dans les grottes un phénomène de « fatigue » comparable à celui des aciers, sans aucune relation avec la vitesse de vibration : en effet, après un certain nombre de tirs, de petites pierres (1 à 5 cm) se détachaient de la paroi, alors que la vitesse de vibration était illisible à cet endroit (donc pratiquement nulle) et que rien ne s'était produit lors des tirs précédents, pour des vitesses de l'ordre de 8 à 10 mm/s. Les vibrations répétées légères finissent donc par ouvrir des fissures. La figure 4 donne les résultats de tirs enregistrés.

Il ne faut pas conclure de toutes ces réserves ainsi formulées qu'il soit exclu de pouvoir miner à proximité de grottes visitées par le public. A Remouchamps, au cours des travaux de l'autoroute, on a miné à la dynamite par volées de 100 kg, à 600 m de la grande salle des grottes, et par tirs de 10 kg à quelque 150 m, sans enregistrer la moindre vibration à l'intérieur des grottes.

Dans le premier cas, les tirs se pratiquaient dans d'autres bancs que ceux des grottes, farcis de remplissages argileux ; dans le second cas, il s'agissait des mêmes bancs, mais également truffés de remplissages argileux. Ces remplissages amortissent notablement les vibrations.

2.2.1. *Elektrische apparatuur*

Sommige relais, ondermeer in elektrische centrales, blijken zeer gevoelig voor trillingen.

Gewoonlijk bepaalt de constructeur zelf de veiligheidsdrempel in de vorm van een fractie van de versnelling *g* van de zwaartekracht (bv. 0,6 g).

Volgens de enkele metingen die wij hebben kunnen uitvoeren stemmen deze drempels, wat de waargenomen frequenties betreft, goed overeen met de grens van 5 mm/s die algemeen in acht wordt genomen in de D.B.R. voor de trillingssnelheid in elektrische centrales.

2.2.2. *Laboratoria*

Hier is het, gezien de verscheidenheid van de gevallen, eveneens de taak van constructeurs en directie om grenzen te bepalen die voor bepaalde gevoelige toestellen dienen in acht genomen.

2.2.3. *Grotten*

Voor grotten kan onmogelijk een snelheidsdrempel worden bepaald, daar de weerstand van een onderaardse holte zonder ondersteuning afhangt van heel wat andere factoren dan de aard van het gesteente ; ze varieert zeer sterk van de ene plaats tot de andere en in de tijd. Het is van groot belang of het springwerk in dezelfde gesteentelaag als die van de grot gebeurt, dan wel in andere lagen.

Ten slotte stellen wij vast, naar aanleiding van de metingen in de kalksteengrotten van Hampteau, dat zich in de grotten een « vermoeiings »-verschijnsel voordoet dat vergelijkbaar is met dat van staal, en dat geheel losstaat van de trillingssnelheid : na een aantal schoten kwamen kleine stenen (1 tot 5 cm) los van de wand, terwijl de trillingssnelheid vrijwel onleesbaar (dus vrijwel nul) was op die plaats en er niets was gebeurd tijdens de voorgaande schoten met snelheden van 8 tot 10 mm/s. Herhaalde lichte trillingen maken dus uiteindelijk barsten open. Figuur 4 geeft de resultaten van geregistreerde schoten.

Ondanks alle voorbehoud moet men niet besluiten dat het uitgesloten is springwerk uit te voeren in de nabijheid van grotten die door het publiek worden bezocht. Te Remouchamps werd tijdens de autowegwerken met dynamiet geschoten met ladingen van 100 kg, op een afstand van 600 m van de grote zaal van de grotten en met salvo's van 10 kg op zowat 150 m, zonder dat ook maar de minste trilling werd waargenomen in de grotten.

In het eerste geval gebeurde het springwerk in andere lagen dan die van de grotten, opgevuld met kleiachtig materiaal. In het tweede geval gebeurde het in dezelfde lagen, die evenwel ook met kleiachtig materiaal waren opgevuld. Dit vulmateriaal dempt de trillingen aanzienlijk.

Charge (kg) *Lading (kg)*			Distance tir - mesure (m) *Afstand schietpunt - meetpunt (m)*			$\frac{D}{\sqrt{C}}$	Vitesse de vibration *Trillings-snelheid* (mm/s)
Dynamite *Dynamiet*	Nitrate *Nitraat*	Total *Totaal* C	Horizontale *Horizontaal*	Verticale *Verticaal*	Résultante D		
660	1.850	2.510	220	37	223	4,45	8,9
1.254	1.910	3.164	207	47	212	3,77	0
1.035	1.500	2.535	228	52	234	4,65	11,4
635	1.780	2.415	202	47	207	4,21	0
225	2.000	2.225	222	37	225	4,77	6,5
282	1.925	2.207	219	52	225	4,79	0
553	1.660	2.213	198	47	203,5	4,33	0
336	2.040	2.376	214	37	217	4,45	9,0
452	1.720	2.172	219	52	225	4,83	0
437	2.280	2.717	248	37	251	4,82	13,4
609	3.400	4.009	201	52	208	3,28	8,3

Résultats de tirs à Hampteau — Fig. 4 — *Resultaten van springwerk te Hampteau*

3. *PROJETS DE NORMES EN MATIERES DE VIBRATIONS*

3.0. *Introduction*

Bien des lapalissades ont ceci de remarquable qu'elles sont à la fois évidentes et nécessaires à dire. Nous dirons donc que seuls le bon sens et l'expérience doivent présider au choix des critères de vibration. Dans les trois projets de normes sur les vibrations que je me propose de parcourir avec vous, le jugement se fonde sur différents critères, et notamment les suivants :

1°) le type de sollicitation,
2°) la destination de la construction et son état,
3°) l'heure où se produit la sollicitation,
4°) le niveau de perceptibilité, ou susceptibilité humaine.

Quelques commentaires sur ces éléments.

3.0.1. *Type de sollicitation*

Tout tir de mines engendre une oscillation transitoire forcée qui rentre dans la catégorie des chocs : elle oscille très rapidement jusqu'à une valeur de pointe, puis s'amortit rapidement.

3. *ONTWERPEN VAN NORMEN INZAKE TRILLINGEN*

3.0. *Inleiding*

Waarheden-als-koeien zijn vaak in die zin merkwaardig dat ze tegelijk vanzelfsprekend zijn en nodig dienen gezegd te worden. Laten wij dus stellen dat enkel het gezond verstand en de ondervinding beslissend moeten zijn bij de keuze van de trillingscriteria. In de drie ontwerpen van normen inzake trillingen die ik met U even wil doorlopen, stoelt de beoordeling op verschillende criteria, onder meer de volgende :

1°) de vorm van belasting,
2°) de bestemming en de staat van het gebouw,
3°) het tijdstip van de belasting,
4°) de waarneembaarheids- of gevoeligheidsdrempel bij de mens.

Enige toelichting bij deze elementen.

3.0.1. *Vorm van belasting*

Elke afvuring van schoten veroorzaakt een voorbijgaande geforceerde trilling die tot de categorie van de schokken behoort ; ze trilt zeer snel tot aan een piekwaarde en verzwakt dan spoedig.

Il est normal de tolérer, tant vis-à-vis des personnes que des constructions, des valeurs de pointe plus élevées pour un choc qui ne se produit qu'une fois par jour par exemple que pour des vibrations quasi continues, telles celles de machines ou le trafic routier.

3.0.2. *Destination et état de la construction*

Il est tout à fait logique de se montrer plus sévère :

— envers une résidence ou un hôpital avec salle d'opération ou un laboratoire contenant des appareils délicats, qu'envers la plupart des industries ou des ateliers ;
— à propos d'une construction en état moyen de conservation, et surtout d'un monument classé, en général fragile, qu'à propos d'une ossature en béton armé.

3.0.3. *Heure où se produit la sollicitation*

Il est évident que, durant la nuit ou durant certaines heures de repos le jour, on ne peut tolérer que des niveaux de vibration fortement réduits.

3.0.4. *Susceptibilité humaine*

On aura remarqué qu'elle intervient déjà tacitement dans les critères précédents. Elle varie d'un homme à l'autre, et même chez un même homme au cours du temps ; elle dépend de facteurs objectifs, mais aussi de nombreux facteurs psychologiques :

— Le fait que l'on soit ou non préparé à subir la vibration. On sera surpris par le caractère soudain, inusité d'un choc, mais on acceptera beaucoup plus aisément les vibrations mécaniques d'un engin de transport.
— L'occupation : la personne est-elle à son travail à l'usine, ou dans sa résidence, occupée ou au repos, durant le jour ou le soir et la nuit ?

La susceptibilité dépend aussi de la combinaison éventuelle de la vibration avec d'autres actions telles que : bruits, déplacements visibles, heurts audibles et visibles d'objets, vibrations de fenêtres et de portes...

Au terme de cette brève analyse des principaux critères, nous devons souligner que dans la plupart des cas les problèmes soulevés appartiennent à deux races très différentes :

— l'effet des vibrations sur les constructions,
— l'effet des vibrations sur l'être humain.

En effet, si, comme nous le verrons, une construction en bon état peut supporter une vitesse de vibration de 50 mm/s, l'être humain par contre (fig. 5), qui ressent une vibration dès que sa vitesse atteint

Zowel wat personen als wat gebouwen betreft, is het normaal dat hogere piekwaarden worden verdragen bij een schok die zich bijvoorbeeld slechts éénmaal per dag voordoet, dan bij vrijwel onophoudende trillingen zoals die veroorzaakt door machines of het wegverkeer.

3.0.2. *Bestemming en staat van het gebouw*

Het is niet meer dan logisch strenger op te treden ten opzichte van :

— een woongebouw of een ziekenhuis met operatiekamer of een laboratorium met gevoelige toestellen, dan t.o.v. de meeste bedrijven of werkplaatsen ;
— een gebouw in middelmatige staat en vooral een geklasseerd monument dat gewoonlijk broos is, dan t.o.v. een structuur in gewapend beton.

3.0.3. *Tijdstip van de belasting*

Het spreekt vanzelf dat men tijdens de nacht of tijdens bepaalde rusturen overdag slechts zeer beperkte trillingsniveaus kan verdragen.

3.0.4. *Menselijke gevoeligheid*

U heeft stellig reeds opgemerkt dat die reeds stilzwijgend vervat is in de voorgaande criteria. Ze verschilt van mens tot mens, en zelfs bij dezelfde mens varieert ze in de loop van de tijd. Ze hangt niet alleen af van objectieve factoren, maar ook van verscheidene psychologische factoren :

— Het al dan niet voorbereid zijn op trillingen. Een plotse onverwachte schok zal mensen doen opschrikken, terwijl men veel gemakkelijker de mechanische trillingen van een vervoermiddel zal aanvaarden ;
— De bezigheid : is de persoon aan het werk in een fabriek, of is hij thuis, is hij bezig met iets of rust hij, overdag, 's avonds of 's nachts ?

De gevoeligheid hangt ook af van het eventueel samengaan van de trilling met andere verschijnselen, zoals : lawaai, zichtbare verplaatsingen, hoorbaar en zichtbaar schokken van voorwerpen, trillen van deuren en vensters...

Na deze korte analyse van de voornaamste criteria dient onderstreept dat de gestelde problemen meestal tot twee totaal verschillende categorieën behoren :

— de invloed van de trillingen op gebouwen,
— de invloed van de trillingen op de mens.

Wij zullen immers verder zien dat een gebouw in goede staat een trillingssnelheid van 50 mm/s goed kan doorstaan, terwijl de mens daarentegen (fig. 5), die een trilling reeds aanvoelt van zodra de snelheid 0,75 mm/s bedraagt, ze ronduit onverdraaglijk vindt

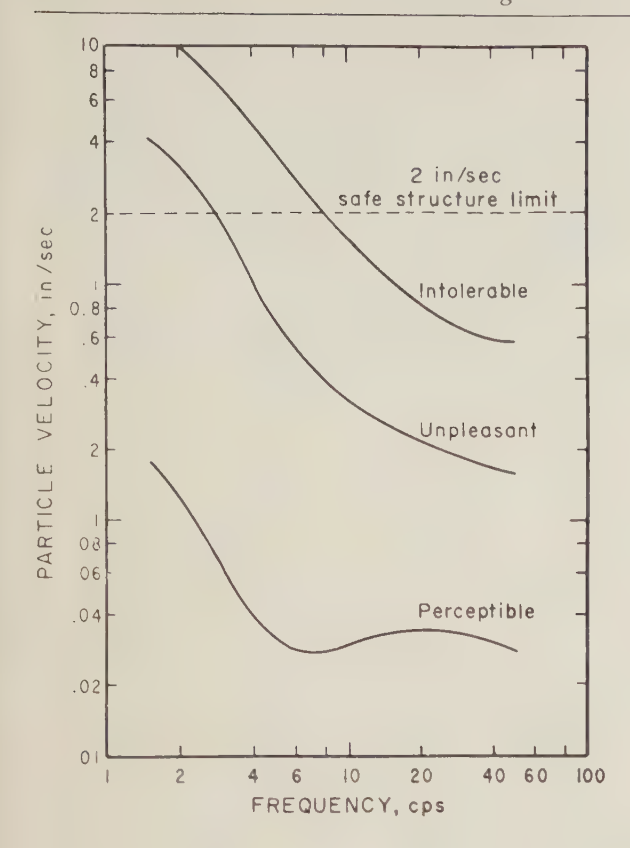


Fig. 5
Réponse subjective de l'être humain à une vibration
(d'après Goldman)
Subjectieve reactie van de mens ten opzichte van een trilling
(volgens Goldman)

— Particle velocity, in/sec = Vitesse de vibration en pouces/s = *Trillingssnelheid in duim/s*
— Frequency, cps = Fréquence en Hz = *Frequentie in Hz*
— Safe structure limit = Limite de sécurité pour les constructions = *Veiligheidsgrens voor gebouwen*
— Intolerable = Intolérable = *Onverdraaglijk*
— Unpleasant = Désagréable = *Onaangenaam*
— Perceptible = Perceptible = *Waarneembaar*

0,75 mm/s, la trouve franchement insupportable dès 25 mm/s (aux fréquences de 10 à 60 Hz usuelles dans les tirs en carrière).

Conclusion : l'homme est un excellent détecteur de vibrations, et le Belge en particulier.

Dans le choix des valeurs-limites, les projets de normes tachent dans chaque cas de pondérer équitablement la susceptibilité humaine et les nécessités du travail. Par exemple : en cas de vibrations continues ou répétées, c'est le point de vue susceptibilité qui doit s'imposer ; en cas de chocs isolés, il faut considérer avant tout les dégâts aux constructions, et tolérer des limites plus élevées, sinon il deviendrait impossible de miner en carrière ou de battre des pieux dans les travaux publics.

Trois projets de normes se présentent à notre attention :

— la DIN 4150, en R.F.A.,
— le projet français de l'AFTES,
— le projet international de l'ISO.

vanaf 25 mm/s (bij frequenties van 10 tot 60 Hz die gebruikelijk zijn bij het springwerk in groeven).

Besluit : de mens, en vooral dan de Belg, is een uitstekende trillingsdetector.

Bij de keuze van de grenswaarden pogen de ontwerpen van normen een juist evenwicht te bereiken tussen de menselijke gevoeligheid en de noodzakelijke werkvoorwaarden. Bij voorbeeld : bij voortdurende of herhaalde trillingen moet de menselijke gevoeligheid de overwegende factor zijn ; bij afzonderlijke schokken dient vooral de schade aan de gebouwen in aanmerking genomen en moeten hogere grenzen worden geduld, zoniet zou springwerk in groeven of het heien van palen bij openbare werken onmogelijk worden.

Drie ontwerpen van normen vragen onze aandacht :

— de DIN 4150 in de D.B.R.,
— het Franse AFTES-ontwerp,
— het internationale ISO-ontwerp.

3.1. *Pré-norme DIN 4150*

Nous la citons la première, parce que la seule officiellement diffusée et la plus complète. Elle s'appelle « prénorme » parce que son applicabilité suscite encore des réticences. Elle se présente donc sous l'aspect de recommandations, qu'il est convenu de tester par la pratique jusqu'au 30.6.78.

3.1. *Pre-norm DIN 4150*

Deze norm wordt eerst vermeld daar het de enige is die officieel verspreid en ook de meest volledige is. Hij wordt « pre-norm » genoemd omdat er nog enige terughoudendheid is omtrent zijn toepasselijkheid. Hij wordt dus voorgesteld in de vorm van aanbevelingen, die volgens overeenkomst in de praktijk worden beproefd tot 30.6.78.

3.1.1. *Effets sur l'être humain*

Le projet s'inspire de la norme ISO 2631 : « Guide pour l'estimation de l'exposition à la vibration du corps entier » (7/74), qui donne deux courbes à niveau de perception constant :

— l'une, concernant les vibrations dans le sens de la colonne vertébrale (donc verticales),
— l'autre, concernant les vibrations perpendiculaires à la colonne vertébrale (donc horizontales).

3.1.1. *Invloed op de mens*

Het ontwerp is geïnspireerd op de ISO-norm 2631 : « Leidraad voor het bepalen van de blootstelling van het menselijk lichaam aan trillingen » (7/74), die twee curven bij constant waarnemingspeil weergeeft :

— een curve voor de trillingen in de richting van de wervelkolom (dus verticaal),
— een andere voor de trillingen loodrecht op de wervelkolom (dus horizontaal).

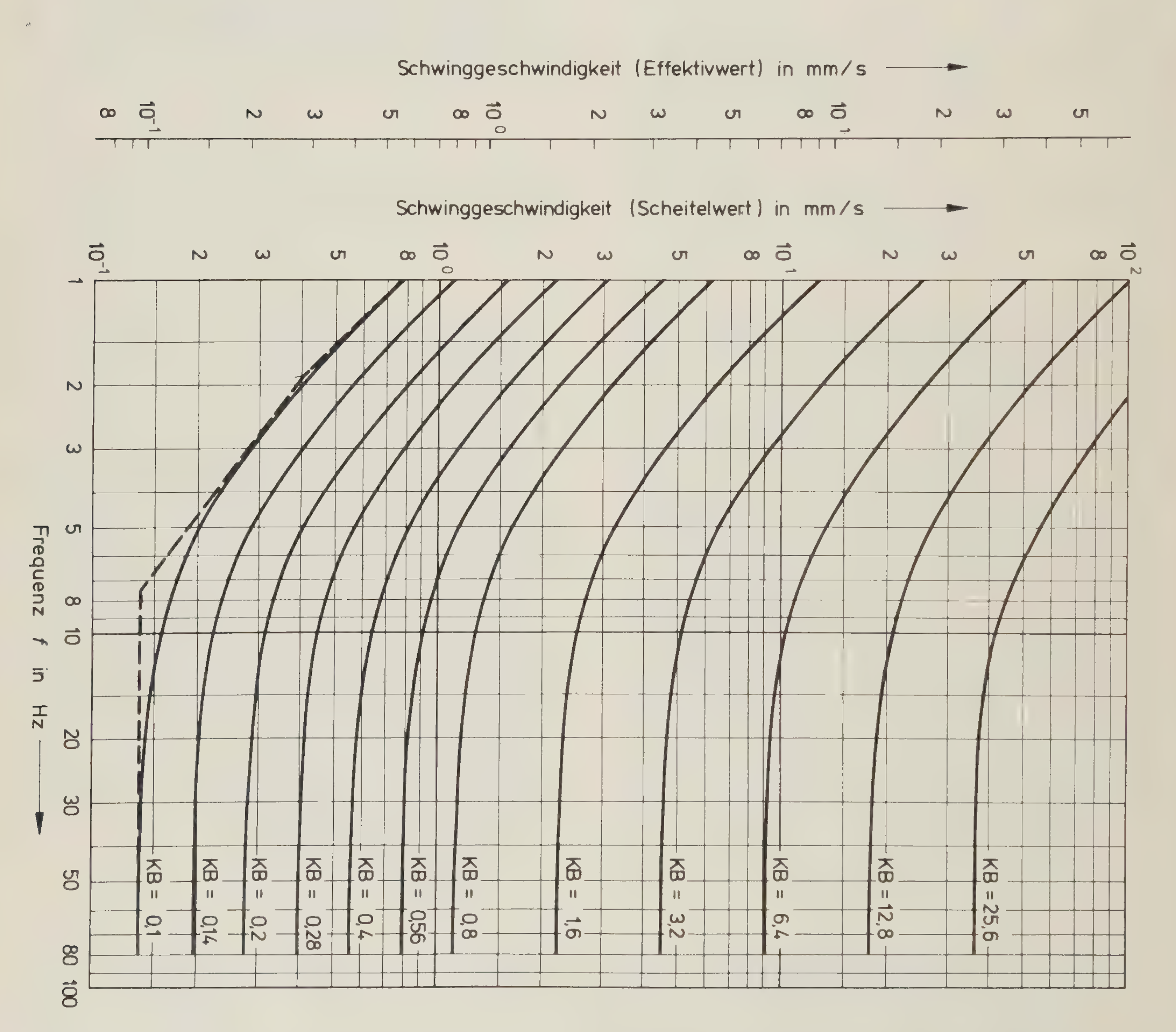


Fig. 6

Evolution de la vitesse de vibration (en mm/s) en fonction de la fréquence de la vibration (en Hz), à niveau de perception KB = constante.

Evolutie van de trillingssnelheid (in mm/s) in functie van de trillingsfrequentie bij constant waarnemingspeil KB.

— Schwinggeschindigkeit = vitesse de vibration = *trillingssnelheid*
— Effektivwert = valeur efficace = *reële waarde*
— Scheitelwert = valeur de crête = *piekwaarde*

Pour simplifier, quelle que soit la direction de la vibration résultante :

1°) Pour les fréquences < 2 Hz, on suppose que le niveau de perception est proportionnel à l'accélération de vibration, ce qui correspond à la perception ISO normalement à la colonne vertébrale. C'est logique car, aux basses fréquences, c'est dans cette direction que l'homme est le plus sensible aux vibrations.
Sur un diagramme doublement logarithmique de la vitesse de vibration en fonction de la fréquence (fig. 6), cette hypothèse se traduit par un tronçon de droite à 45 °.

2°) Pour les fréquences > 8 Hz, on suppose que le niveau de perception est proportionnel à la vitesse de vibration, ce qui correspond à la courbe ISO suivant la colonne vertébrale. C'est la partie horizontale de la figure.

3°) On admet de joindre les points 2 Hz et 8 Hz par une droite.

4°) Enfin, on remplace ces lignes polygonales à niveau de perception constant par les courbes de la figure, en commettant une erreur < 1 dB, soit < 12 %. Ces courbes permettent d'exprimer le niveau de perception, désigné par KB, en fonction des paramètres et de la fréquence de vibration (fig. 7).

Le projet de norme exprime les niveaux admissibles en KB. Mais ces coefficients ne sont pas parlants, car

Ter vereenvoudiging kan worden gesteld, voor om het even welke richting van de resulterende trilling :

1°) Voor frequenties < 2 Hz onderstelt men dat het waarnemingspeil evenredig is aan de trillingsversnelling, hetgeen overeenstemt met de ISO-waarneming loodrecht op de wervelkolom. Dit is logisch want bij lage frequenties is de mens in deze richting het gevoeligst voor trillingen.
Op een dubbel logaritmisch diagram van de trillingssnelheid in functie van de frequentie (fig. 6), wordt deze hypothese voorgesteld door een lijnstuk op 45° ;

2°) Voor frequenties > 8 Hz onderstelt men dat het waarnemingspeil evenredig is aan de trillingssnelheid, wat overeenstemt met de ISO-curve in de richting van wervelkolom. Dit is het horizontale gedeelte van de figuur.

3°) De punten 2 Hz en 8 Hz worden met elkaar verbonden door een rechte.

4°) Tenslotte worden deze veelhoekige lijnen bij constant waarnemingspeil vervangen door de curven van de figuur, met een afwijking < 1 dB, d.i. < 12 %. Aan de hand van deze curven kan het waarnemingspeil, aangeduid door KB, worden uitgedrukt in functie van de parameters en de frequentie van de trilling (fig. 7).

Het ontwerp van norm drukt de toelaatbare peilen uit in KB. Maar deze coëfficiënten zijn niet sprekend,

$$KB = A \cdot \frac{\alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_o}\right)^2}} \cdot f^2 \qquad (1)$$

$$= V \cdot \frac{\beta}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_o}\right)^2}} \cdot f \qquad (2) \qquad \beta = \frac{\alpha}{2\pi}$$

$$= G \cdot \frac{\gamma}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_o}\right)^2}} \qquad (3) \qquad \gamma = \frac{\beta}{2\pi} = \frac{\gamma}{4\pi^2}$$

f = fréquence = *frequentie*

f_o = fréquence de référence (5,6 Hz) = *referentiefrequentie*

A, V, G = amplitude du déplacement, de la vitesse, de l'accélération (de la vibration)
amplitude van de trillingsverplaatsing, -snelheid, -versnelling.

Niveau de perception KB — Fig 7 — *Waarnemingspeil KB*

non directement mesurables. Nous avons pu les remplacer par les vitesses de vibration (critère le plus caractéristique des dégâts), car les courbes à KB constant de la figure 6 sont pratiquement des horizontales aux fréquences usuelles des tirs ; donc la vitesse est aussi pratiquement constante (entre 20 et 80 Hz, elle diminue dans le rapport 1,04 / 1).

La figure 8 nous donne en mm / s les vitesses admissibles suivant la verticale, vis-à-vis des personnes se trouvant dans des constructions. Ce tableau appelle différentes remarques :

daar ze niet rechtstreeks meetbaar zijn. Wij hebben ze kunnen vervangen door de trillingssnelheden (meest kenmerkend criterium voor de beschadiging), daar de curven bij constante KB van figuur 6 vrijwel horizontaal liggen bij de gebruikelijke frequenties van de schoten ; bijgevolg is de snelheid ook vrijwel constant (tussen 20 en 80 Hz neemt ze af in de verhouding 1,04 / 1).

Figuur 8 geeft in mm / s de toelaatbare verticale snelheden ten opzichte van personen die zich in gebouwen bevinden. Deze tabel roept enkele bemerkingen op.

	1		2	3		4	
	Destination de la construction *Bestemming van het gebouw*		Jour (J) *Dag* Nuit (N) *Nacht*	Vitesses admissibles — *Toelaatbare snelheden*			
				Vibrations permanentes ou répérées *Voortdurende of herhaalde trillingen* (> 2 heures/*uren*)		Vibrations rares *Zeldzame trillingen* (≤ 3 tirs/jour - *schoten/dag*)	
				10 Hz	80 Hz	10 Hz	80 Hz
1.	Résidences pures *Woningen* Résidences en général *Woongebouwen in het algemeen* Maisons de campagne *Landhuizen* Régions peu denses *Dunbevolkte streken*	WR WA SW WS	J	0,32 (0,24) (a)	0,28 (0,21)	6,3	5,5
			N	0,24 (0,16)	0,21 (0,14)	0,24	0,21
2.	Villages - *Dorpen* Régions mixtes *Gemengde streken* (maisons + usines) *(woningen + fabrieken)* Centres nucléaires - *Kerncentra*	MD MI MK	J	0,47 (0,32)	0,41 (0,28)	12,6	11,0
			N	0,32	0,28	0,32	0,28
3.	Professionnelles (ateliers, bureaux) *Bedrijfsgebouwen* *(werkplaatsen, kantoren)*	GE	J	0,63	0,55	18,9	16,5
			N	0,47	0,41	0,47	0,41
4.	Zone industrielle *Industriezone*	GI	J	0,95	0,83	18,9	16,5
			N	0,63	0,55	0,63	0,55
5.	Zones diverses (mode d'utilisation, % résidences) *Diverse zones (gebruikswijze, % woningen)*	SO	J	0,16 à 0,95	0,14 à 0,83	6,3 à 18,9	5,5 à 16,5
			N	0,16 à/tot 0,63	0,14 à/tot 0,55	0,24 à/tot 0,63	0,21 à/tot 0,55

(a) Direction horizontale - *Horizontale richting.*

Fig. 8

Vitesse verticales admissibles vis-à-vis de gens se trouvant dans des constructions (en mm / s) (entre 1 et 80 Hz).

Toelaatbare verticale snelheden ten opzichte van personen die zich in gebouwen bevinden (in mm / s) (tussen 1 en 80 Hz).

1°) Le projet de norme tient compte :

— du type de sollicitation,
— de la destination de la construction,
— de l'heure où se produit la sollicitation.

2°) *Heure de la sollicitation*

La journée est comprise entre 6 et 22 h, alors que dans le règlement contre le bruit (du 19/8/70), on la définit entre 7 et 20 h.

3°) *Type de sollicitation*

a) Une vibration, pour être déclarée permanente ou répétée, doit durer plus de 2 heures. On appelle répétée une vibration permanente comportant des interruptions.

Certaines valeurs entre parenthèses concernent la direction horizontale. Les valeurs ne sont valables qu'entre 1 et 80 Hz.

b) En cas de vibrations survenant très rarement (par exemple, 2 tirs par semaine) et durant le jour, on peut accepter pour les groupes de constructions 1 et 2 les limites plus élevées du groupe 3 (colonne 4 : 18,9 à 16,5 mm/s) :

— si l'on mine en dehors des temps dits « de repos » de 6 à 7/13 à 15/19 à 22 h ; donc, si l'on mine de 7 à 13/15 à 19 h ;
— si l'on a averti au préalable la population.

c) Pour des vibrations provoquées durant le jour et exceptionnellement (durant quelques jours, tels des battages de pieux ou des minages de construction), on peut accepter le double des valeurs correspondantes de la figure 8, colonne 4 (vibrations rares), à condition qu'il ne dépasse pas les limites relatives aux constructions citées à la figure 9, sauf si l'on prévoit des protections spéciales.

4°) Une dernière remarque pratique. Les appareils de mesure ne permettant pas de mesurer correctement une vitesse de vibration < 1 mm/s, le projet de norme exclut donc en pratique les tirs normaux durant la nuit.

3.1.2. *Effets sur les constructions*

Le projet de norme est nettement plus simple qu'à propos des personnes. Il retient comme critère (fig. 9) le maximum de la vitesse de vibration résultante $\hat{V}_R$, *vx, vy* et *vz* étant ses composantes suivant 3 directions orthogonales.

Quelques commentaires à propos de cette figure 9 :

1°) Le projet déclare ne s'intéresser qu'à la stabilité et à la durée de vie de la construction, mais non à

1°) Het ontwerp van norm houdt rekening met :

— de vorm van belasting,
— de bestemming van het gebouw,
— het tijdstip van de belasting.

2°) *Tijdstip van de belasting*

De dag is begrepen tussen 6 en 22 u., terwijl hij in het regelement tegen de lawaaihinder (van 19/8/70) tussen 7 en 20 u. wordt bepaald.

3°) *Vorm van belasting*

a) Om als voortdurend of herhaald te worden beschouwd, dient een trilling langer dan 2 uur te duren. Een herhaalde trilling is een voortdurende trilling met onderbrekingen.

Bepaalde waarden tussen haakjes hebben betrekking op de horizontale richting. De waarden gelden slechts tussen 1 en 80 Hz.

b) In geval van trillingen die slechts zeer sporadisch optreden (bijv. 2 schoten per week) tijdens de dag, mogen voor de gebouwen behorende tot groep 1 en 2 de hogere grenzen van groep 3 worden aanvaard (kolom 4 : 18,9 tot 16,5 mm/s) :

— indien het springwerk plaatsvindt buiten de zogenaamde « rusturen » van 6 tot 7/13 tot 15/19 tot 22 u. Dus indien het springwerk gebeurt van 7 tot 13/15 tot 19 u. ;
— indien de bevolking vooraf gewaarschuwd werd.

c) Voor trillingen die overdag en slechts uitzonderlijk plaatsvinden (gedurende enkele dagen, zoals het heien van palen of het springwerk voor bouwwerken) mag het dubbele van de waarden van figuur 8, kolom 4 (zeldzame trillingen) worden aanvaard, op voorwaarde dat dit niet hoger ligt dan de grenswaarden met betrekking tot gebouwen die op figuur 9 worden vermeld, behalve wanneer speciale beschermingsmaatregelen worden getroffen.

4°) Tot slot nog een praktische bemerking. Daar de meettoestellen trillingssnelheden < 1 mm/s niet nauwkeurig kunnen meten, sluit de ontwerpnorm in de praktijk het normale springwerk tijdens de nacht uit.

3.1.2. *Invloed op gebouwen*

Hier is het ontwerp van norm veel eenvoudiger dan voor personen. Als criterium (fig. 9) wordt het maximum van de resulterende trillingssnelheid $\hat{V}_R$ gehanteerd, waarvan *vx, vy* en *vz* de componenten zijn volgens 3 orthogonale richtingen.

Enige toelichting bij figuur 9 :

1°) Het ontwerp vermeldt dat het enkel rekening houdt met de stabiliteit en de levensduur van een gebouw, maar niet met het esthetisch uitzicht

$\hat{V}_R = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$		$\hat{V}_R$ (mm/s)
1 Résidences, commerces et constructions similaires *Woongebouwen, handelszaken en dergelijke*	(1)	8
2 Constructions bien renforcées en éléments solides *Goed versterkte gebouwen in stevige elementen* Constructions à ossature très résistante *Gebouwen met zeer sterk gebinte*	(1)	30
3 Autres constructions et bâtiments classés *Andere gebouwen en geklasseerde gebouwen*		4

(1) dans un état conforme aux règles généralement admises en construction.
in een staat overeenkomstig met de algemeen aanvaarde bouwreglementen.

Fig. 9

Vitesses résultantes $\hat{V}_R$ admissibles à la base d'une construction (DIN 4.150) pour des vibrations de courte durée (tirs) quelques Hz - 60 Hz.

Resulterende snelheden $\hat{V}_R$ die toelaatbaar zijn op de grondvesten van een gebouw (DIN 4.150) bij trillingen van korte duur (schoten) enkele Hz - 60 Hz.

son esthétique (fissures de crépi, par exemple). On estime que si $\hat{V}_R \leqslant 2$ mm/s, les dégâts de tout ordre ne peuvent être attribuables aux seules vibrations, à condition que la construction soit dans un état convenable de conservation.

2°) Le projet tient compte :
- du type de sollicitation,
- de la destination et de l'état de la construction.

3°) *Type de sollicitation*

Le tableau est valable :
- s'il y a moins de 3 tirs/jour travaillé,
- pour des fréquences entre quelques Hz et 60 Hz,
- pour les battages de pieux, si la vibration a le temps de s'amortir entre les coups,
- si l'on effectue plus de 3 tirs/jour (ce qui ne nous préoccupe guère ici), il faut réduire les limites aux 2/3,
- si la fréquence est régulièrement > 60 Hz, on peut accepter des limites plus élevées en cas de tirs rares (exemple : 2 tirs/semaine) ou de minages de construction. Mais ceci est illusoire ; ou faut-il y voir un adoucissement tacite du projet ? Car comment connaître à l'avance la fréquence de vibration d'un tir ?

ervan (barsten in de pleisterkalk, bijboorbeeld). Men oordeelt dat, indien $\hat{V}_R \leqslant 2$ mm/s, beschadigingen van welke aard ook niet enkel aan de trillingen zijn toe te schrijven, op voorwaarde dat het gebouw in behoorlijke staat is.

2°) Het ontwerp houdt rekening met :
- de vorm van belasting,
- de bestemming en de staat van het gebouw.

3°) *Vorm van belasting*

De tabel is geldig :
- voor minder dan 3 schoten/werkdag,
- voor frequenties tussen enkele Hz en 60 Hz,
- voor het heien van palen, indien de trilling de tijd heeft te verzwakken tussen de slagen,
- indien meer dan 3 schoten/dag worden afgevuurd (wat hier voor ons van weinig belang is), dienen de grenzen tot 2/3 verminderd,
- indien de frequentie geregeld > 60 Hz is, mogen hogere grenzen worden aanvaard voor zeldzame schoten (bijv. : 2 schoten/week) of voor springwerk voor bouwwerken. Maar dit is denkbeeldig ; of moet men er soms een stilzwijgende verzachting van het ontwerp in zien ? Want hoe kan men immers op voorhand de trillingsfrequentie van een schot kennen ?

4°) D'après le projet, une vitesse verticale ≤ 20 mm/s, relevée au centre d'un plafond normalement construit, ne risque pas d'en réduire la durée de vie.

3.1.3. *Autres remarques*

1°) Le projet de norme admet que chaque cas est un cas d'espèce. Autrement dit, des exploitations semblables peuvent produire des vibrations différentes. Les éléments suivants sont importants :

— la nature du sol,
— le mode de transmission de la vibration,
— le niveau de la nappe aquifère.

Nature du sol

Les caractéristiques dynamiques du sol présentent une forte dispersion ; leur influence dépend de la construction.

Mode de transmission

L'absorption des vibrations par le sol est peu importante au voisinage du tir. Elle dépend de la longueur d'onde de la transmission et du type de sol. Notons que la vitesse de transmission peut atteindre plusieurs milliers de m/s.

On distingue les ondes de transmission :

— spatiales (dans le massif),
— superficielles, qui ont des longueurs d'onde (vitesse, fréquence) différentes.
  Dans la plupart des cas, on rencontre une combinaison de ces 2 types d'ondes et la vibration produite en dépend.
  Les ondes spatiales (ondes longitudinales de pression et ondes transversales) sont les plus actives à des distances faibles, de l'ordre de 100 m par rapport au tir.
  Les ondes superficielles au contraire agissent à des distances plus importantes. A ce moment, elles présentent des fréquences plus basses et des amplitudes plus élevées que les ondes spatiales.
  Un cas particulier de transmission superficielle : minage dans un banc pas trop épais, beaucoup moins dense que les bancs inférieurs dont il est nettement séparé.

Pas mal de recherches restent à entreprendre dans le cas de sous-sols très stratifiés et en présence de nappes aquifères.

2°) *Exécution des mesures de vibration*

a) Le projet recommande d'établir un contact ferme entre l'appareil de mesure et la fondation de la construction, et même de fixer fermement l'appareil si l'on escompte une

4°) Volgens het ontwerp dreigt een verticale snelheid ≤ 20 mm/s, gemeten in het midden van een normaal gebouwde zoldering, niet de levensduur ervan te verminderen.

3.1.3. *Andere bemerkingen*

1°) Het ontwerp van norm stelt dat elk geval een alleenstaand geval is. M.a.w., gelijkaardige ontginningen kunnen verschillende trillingen veroorzaken. De volgende elementen zijn van belang :

— de aard van de bodem,
— de wijze van voortzetting van de trilling,
— het grondwaterpeil.

Aard van de bodem

De dynamische kenmerken van de bodem zijn sterk verspreid ; hun invloed hangt af van het gebouw.

Wijze van voortzetting

De opslorping van trillingen door de bodem is slechts zwak in de nabijheid van het schietpunt. Ze hangt af van de golflengte van de voortplanting en van de aard van de bodem. Hier dient aangestipt dat de voortplantingssnelheid verscheidene duizenden m/s kan bedragen.

Er dient een onderscheid gemaakt tussen :

— de ruimtelijke draaggolven (in het massief),
— de oppervlakte-draaggolven, die andere golflengten (snelheid, frequentie) hebben.
  Men treft meestal een combinatie van deze twee soorten golven aan en de voortgebrachte trilling hangt daarvan af.
  De ruimtelijke golven (longitudinale drukgolven en transversale golven) zijn het sterkst op korte afstand, op zowat 100 m van het schietpunt.
  De oppervlaktegolven daarentegen werken op grotere afstand. Op dat ogenblik hebben ze een lagere frequentie en een hogere amplitude dan de ruimtegolven.
  Een bijzonder geval van oppervlakte-voortplanting : springwerk in een niet al te dikke laag die veel minder dicht is dan de onderliggende lagen waarvan ze duidelijk afgescheiden is.

Er valt nog heel wat onderzoekswerk te verrichten met betrekking tot sterk gelaagde ondergronden en aanwezigheid van grondwater.

2°) *Het meten van de trillingen*

a) Het ontwerp geeft de raad een stevig contact tot stand te brengen tussen het meettoestel en de fundering van het gebouw, en zelfs het toestel stevig te bevestigen indien men een

accélération > 0,3 g. Mais à nouveau, comment prévoir celle-ci ?

b) On aura remarqué que le projet conseille :
   - de mesurer surtout la composante verticale de la vitesse, lorsqu'il s'agit d'estimer l'effet sur l'être humain (parfois l'horizontale, sur des murs percés de portes ou de fenêtres),
   - de déterminer la résultante $\hat{V}_{R}$, lorsqu'il s'agit d'estimer l'effet sur les constructions.

3°) *Protection contre les vibrations*

Le projet insiste sur les mesures de protection à l'émission : tirs avec retards optimaux, choix de la charge par volée.

Il insiste aussi sur le fait que la protection des constructions existantes, au moyen de renforcements, coûte très cher et est difficile à réaliser.

Le projet estime dans ces conditions qu'à proximité d'exploitations où l'on mine, les constructeurs doivent prévoir les mesures de protection adéquates, surtout s'il existe des risques de tassement.

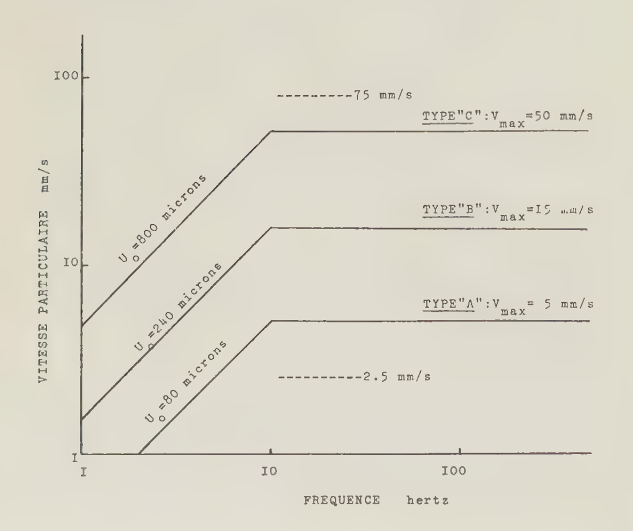
3.2. *Projet de norme de l'AFTES*

3.2.1. *Description du projet*

Il s'agit de recommandations proposées par l'AFTES (Association française des Travaux en Souterrain). Ces recommandations ne visent que les effets des vibrations sur les constructions.

Elles proposent deux paramètres différents, suivant la fréquence (fig. 10) :

1°) Pour les basses fréquences (< 10 Hz), c'est l'amplitude A du déplacement de vibration qui



versnelling > 0,3 g verwacht. Maar nogmaals, hoe kan men zulks voorzien ?

b) Men heeft zeker reeds opgemerkt dat het ontwerp de raad geeft :
   - voornamelijk de verticale snelheidscomponent te meten wanneer men de invloed op de mens moet schatten (soms de horizontale component, op muren waarin deuren of vensters zijn aangebracht),
   - de resultante $\hat{V}_{R}$ te bepalen om de inwerking op gebouwen na te gaan.

3°) *Bescherming tegen trillingen*

Het ontwerp dringt aan op het nemen van beschermingsmaatregelen bij het afvuren van de schoten : schoten met optimale vertraging, keuze van de lading per salvo.

Het legt er ook de nadruk op dat de bescherming van bestaande gebouwen door middel van versterkingen zeer duur en moeilijk uit te voeren is.

Het ontwerp oordeelt dat, in die omstandigheden, de bouwfirma's, wanneer er in de nabijheid ontginningen zijn waar springwerk wordt uitgevoerd, aangepaste beschermingsmaatregelen moeten treffen, vooral indien er verzakkingsgevaar is.

3.2. *Ontwerp van norm van AFTES*

3.2.1. *Beschrijving van het ontwerp*

Het gaat om aanbevelingen voorgesteld door AFTES (Association française des Travaux en Souterrain). Deze aanbevelingen hebben enkel betrekking op de invloed van de trillingen op gebouwen.

Er worden twee verschillende parameters voorgesteld, naargelang van de frequentie (fig. 10) :

1°) Bij lage frequenties (< 10 Hz) wordt de amplitude A van de trillingsverplaatsing beschouwd als

Fig. 10
Valeurs-seuils de la vitesse et du déplacement de vibration en fonction de la fréquence, pour un terrain de fondation de qualité moyenne (V_L = 3.000 m/s).
Drempelwaarden van de trillingssnelheid en -verplaatsing in functie van de frequentie, voor funderingsgrond van gemiddelde kwaliteit (V_L = 3.000 m/s).

Qualité du terrain de fondation V_L (m/s) *Kwaliteit van de funderingsgrond*	Qualité de la construction *Kwaliteit van het gebouw*		
	Type A	Type B	Type C
1.500	2,5 (40) (1)	7,5 (120)	25 (400)
3.000	5 (80)	15 (240)	50 (800)
4.500	7,5 (120)	22,5 (360)	75 (1.200) (2)

(1) Entre ( ), amplitudes en μ, pour des fréquences < 10 Hz.
Tussen ( ), amplitudes in μ bij frequenties < 10 Hz.

(2) D'après des essais aux U.S.A. en bon terrain, il a fallu 2.500 μ de façon soutenue pour provoquer des fissures sérieuses dans le plâtre.
Volgens proefnemingen in goede grond in de U.S.A., was aanhoudend 2.500 μ nodig om aanzienlijke barsten in het pleisterwerk te veroorzaken.

Fig. 11

Vitesses résultantes $\hat{V}_R$ admissibles (en mm/s) et amplitudes admissibles à la base d'une construction (projet AFTES), en cas de chocs (tirs).

Resulterende snelheden $\hat{V}_R$ (in mm/s) en amplitudes die toelaatbaar zijn op de grondvesten van een gebouw (AFTES-ontwerp) bij schokken (schoten).

est considérée comme représentant le mieux le risque de dégâts. Sur le diagramme doublement logarithmique de la figure (vitesse-fréquence), cette hypothèse se traduit par une droite à 45 °, conformément à la relation de la figure 1 :

$V = 2\pi Af$, pour $f = 10$ Hz.

2°) Pour les fréquences > 10 Hz, c'est la vitesse de vibration.

Pour ces fréquences, la figure 11 donne en mm/s les vitesses admissibles qui sont les résultantes maximales $\hat{V}_R$ comme dans le projet allemand.

Quelques observations :

1°) Comparé à la DIN 4150, le projet met davantage l'accent sur l'état de la construction, moins sur sa destination. Il tient compte de la fréquence.

2°) On distingue trois états de la construction, caractérisés par des rapports :

$\frac{\hat{V}_R}{V_L}$ différents,

V_L étant la vitesse longitudinale de transmission de l'onde dans le terrain de fondation (1.500 à 4.500 m/s).

Ces états sont les suivants :

Type A : $\frac{\hat{V}_R \text{ (en mm/s)}}{V_L \text{ (en m/s)}} = \frac{1}{600}$

de meest representatieve parameter van het beschadigingsgevaar. Op het dubbel logaritmisch diagram van de figuur (snelheid-frequentie) wordt deze hypothese voorgesteld door een rechte op 45°, in overeenstemming met de betrekking van figuur 1 :

$V = 2\pi Af$, wanneer $f = 10$ Hz.

2°) Bij frequenties > 10 Hz is het de trillingssnelheid.

Voor deze frequenties geeft figuur 11 in mm/s de toelaatbare snelheden die, zoals in het Duitse ontwerp de maximale resultaten $\hat{V}_R$ zijn.

Enige bemerkingen :

1°) Vergeleken bij de DIN 4150, legt dit ontwerp meer de nadruk op de staat van het gebouw en minder op de bestemming ervan. Het houdt rekening met de frequentie.

2°) De staat van een gebouw kan behoren tot één van drie types, die worden gekenmerkt door verschillende verhoudingen $\hat{V}_R/V_L$,
waarin V_L de longitudinale snelheid van de golfvoortplanting in de funderingsgrond is (1.500 tot 4.500 m/s).

Deze drie types zijn de volgende :

Type A : $\frac{\hat{V}_R \text{(in mm/s)}}{V_L \text{ (in m/s)}} = \frac{1}{600}$

Mauvaise qualité mécanique — Exemples : murs déformés, pierres plus ou moins déchaussées, liants pulvérulents, mortier sans adhérence.

Type B : $\frac{\hat{V}_R}{V_L} = \frac{1}{200}$

Construction moyenne

Type C : $\frac{\hat{V}_R}{V_L} = \frac{1}{60}$

Construction de bonne qualité mécanique — Exemples : immeuble neuf, murs en béton, fondations profondes.

3°) Il apparaît donc un nouveau critère : la qualité du terrain de fondation, que l'on admet être bien représentée par la vitesse V_L : plus V_L est grande, plus solide est le terrain de fondation.

4°) En choisissant le rapport :

$$\frac{\hat{V}_R}{V_L}$$

comme référence, on admet que, dans un état donné (A, B ou C) de la construction, plus le terrain de fondation est solide, plus la vitesse de vibration $\hat{V}_R$ peut être élevée.

Ce choix de :

$$\frac{\hat{V}_R}{V_L}$$

pour définir la qualité et de la construction et de la fondation, conduit à élargir sensiblement la gamme des $\hat{V}_R$ admissibles : 2,5 à 75 mm/s.

3.2.2. *Considérations annexes*

1°) *Fréquences de vibration*

Les vibrations à basse fréquence surviennent notamment dans les cas suivants :

— terrains de mauvaise tenue mécanique, dans des roches fortement fracturées,
— à très grande distance du point de tir ($\geqslant$ 1 km).

La figure 11 donne entre parenthèses les amplitudes admissibles (en μ), calculées à la fréquence 10 Hz.

2°) *Nature de l'explosif*

D'après ce projet, à travail égal d'abattage, la nature de l'explosif ne semble pas avoir d'influence sur la vibration émise, du moins avec les explosifs usuels.

Slechte mechanische kwaliteit — Voorbeeld : vervormde muren, blootliggende stenen, poedervormige bindmiddelen, niet aanklevende mortel.

Type B : $\frac{\hat{V}_R}{V_L} = \frac{1}{200}$

Gebouw in behoorlijke staat

Type C : $\frac{\hat{V}_R}{V_L} = \frac{1}{60}$

Gebouw van goede mechanische kwaliteit. — Voorbeeld : nieuw gebouw, betonnen muren, diepe funderingen.

3°) Hier komt dus een nieuw criterium bij : de kwaliteit van de funderingsgrond, kwaliteit waarvan men aanneemt dat ze goed wordt gekenmerkt door de snelheid V_L : hoe groter V_L, des te steviger is de funderingsgrond.

4°) Door de verhouding :

$$\frac{\hat{V}_R}{V_L}$$

als referentie te kiezen, stelt men dat, in een gegeven staat (A, B of C) van het gebouw, de trillingssnelheid des te hoger mag liggen naarmate de funderingsgrond steviger is.

Deze keuze van :

$$\frac{\hat{V}_R}{V_L}$$

om de kwaliteit van gebouw en fundering te bepalen, geeft aanleiding tot een aanzienlijke uitbreiding van de toelaatbare $\hat{V}_R$: 2,5 tot 75 mm/s.

3.2.2. *Bijkomende beschouwingen*

1°) *Trillingsfrequenties*

De trillingen met lage frequentie komen ondermeer voor in de volgende gevallen :

— grond met slechte mechanische eigenschappen, in sterk gespleten gesteenten,
— op zeer grote afstand van het schietpunt ($\geqslant$ 1 km).

Figuur 11 geeft tussen haakjes de toelaatbare amplitudes (in μ), berekend bij een frequentie van 10 Hz.

2°) *Aard van de springstof*

Volgens dit ontwerp heeft de aard van de springstof, bij gelijke winningswerken, blijkbaar geen invloed op de veroorzaakte trilling, althans wat de gebruikelijke springstoffen betreft.

3°) *Géométrie du tir*

Le projet insiste sur le fait que l'effet de la vibration en un point dépend non seulement de la charge et de la distance, mais surtout de la géométrie du plan de tir.

4°) *Essais à échelle réduite*

A géométrie identique, la vitesse de vibration resterait la même lorsque la charge C augmente proportionnellement à L^3 (L étant une dimension quelconque).

Il serait donc possible, dans des cas épineux, de prévoir les charges admissibles à partir d'essais à charges réduites et à distances D réduites.

Exemple

Soit une construction de solidité douteuse à une distance D du tir. A la distance réduite D_1 (par exemple = D/2), on fait des essais jusqu'à ce que la vitesse de vibration atteigne la valeur limite convenable $\hat{V}_R$. Soit C_1, la charge à ce moment.

La charge réelle C_r, c'est-à-dire celle qui provoquera la même vitesse $\hat{V}_R$, mais près de la construction (à la distance D du tir), vaudrait donc 8 C_1. En effet :

$C_1 / D_1^3 = C_r / D^3$

Or : $D_1 = D/2$

D'où : $C_r = 8\ C_1$.

La DIN 4150 suggère, elle aussi, de tels essais basés sur la similitude géométrique.

5°) *Répétition des tirs*

Si le terrain de fondation est bon (V_L de l'ordre de 3.000 m/s), la répétition multiple d'un tir ne semble pas poser de problèmes particuliers, si l'on respecte le seuil correspondant de la figure 11.

3.3. *Projet de norme de l'ISO*

Il s'agit d'un projet de 1971, émanant de la Grande-Bretagne, projet qui n'a pas été remanié depuis lors.

Il se base évidemment sur la norme ISO 2631 (tout comme la DIN 4150 à propos des effets sur les gens) et principalement sur la « réduction de performance due à la fatigue » (en abrégé F.D.P.).

Le projet sépare nettement les chocs des vibrations continues ou répétées, vis-à-vis desquelles on insiste

3°) *Geometrie van het schot*

Het ontwerp legt er de nadruk op dat de inwerking van een trilling in een punt niet alleen afhangt van de lading en de afstand, maar ook, en vooral, van de geometrische gegevens van een schot.

4°) *Proeven op verkleinde schaal*

Bij een identieke geometrie zou de trillingssnelheid dezelfde blijven wanneer lading C evenredig aan L^3 toeneemt (L is een willekeurige afmeting).

In lastige gevallen zou men dan de toelaatbare ladingen kunnen bepalen aan de hand van proeven met lichtere ladingen en op kleinere afstanden D.

Voorbeeld :

Veronderstellen we een gebouw in twijfelachtige staat op een afstand D van het schietpunt. Op een kleinere afstand D_1 (bijvoorbeeld = D/2) worden proefnemingen verricht totdat de trillingssnelheid de geschikte grenswaarde $\hat{V}_R$ bereikt. Veronderstellen we dat C_1 de lading is op dat ogenblik.

De reële lading C_r, d.i. de lading die dezelfde snelheid $\hat{V}_R$ zal veroorzaken, maar dan dicht bij het gebouw (op de afstand D van het schietpunt), zou dus 8 C_1 bedragen. Immers :

$C_1 / D_1^3 = C_r / D^3$

Nu hebben we : $D_1 = D/2$

Vandaar : $C_r = 8\ C_1$.

Ook de DIN 4150 geeft de raad dergelijke proefnemingen op basis van de meetkundige gelijkvormigheid uit te voeren.

5°) *Herhaling van de schoten*

Indien de funderingsgrond goed is (V_L zowat 3.000 m/s) lijkt een veelvuldige herhaling van een schot geen bijzondere problemen mee te brengen, op voorwaarde dat de overeenstemmende drempel van figuur 11 wordt in acht genomen.

3.3. *Ontwerp van ISO-norm*

Het gaat hier om een ontwerp van 1971, uitgaande van Groot-Brittannië, dat sindsdien niet meer werd gewijzigd.

Het is uiteraard gebaseerd op de ISO-norm 2631 (zoals de DIN 4150 met betrekking tot de invloed op personen) en voornamelijk op het principe « vermindering van prestatie door vermoeidheid » (F.D.P.).

Het ontwerp maakt een duidelijk onderscheid tussen de schokken en de voortdurende of herhaalde

davantage sur le facteur humain, ce qui est logique, et pour lesquelles on exprime les valeurs admissibles en accélérations.

Pour les chocs (tirs), on retient comme critère la vitesse maximale de vibration, tout comme dans les autres projets, mais uniquement la composante verticale : $\hat{V}z$.

On a classé les effets des vibrations en quatre catégories (fig. 12) :

I : aucun dégât ;
II : possibilité de fissures des plâtres (exceptionnellement, fissures dans des éléments portants) ;
III : possibilité de dégâts aux éléments portants ;
IV : dégâts aux éléments portants.

Sur le diagramme doublement logarithmique de l'accélération en fonction de la fréquence, les limites de ces zones représentent à plus de 8 Hz, des vitesses

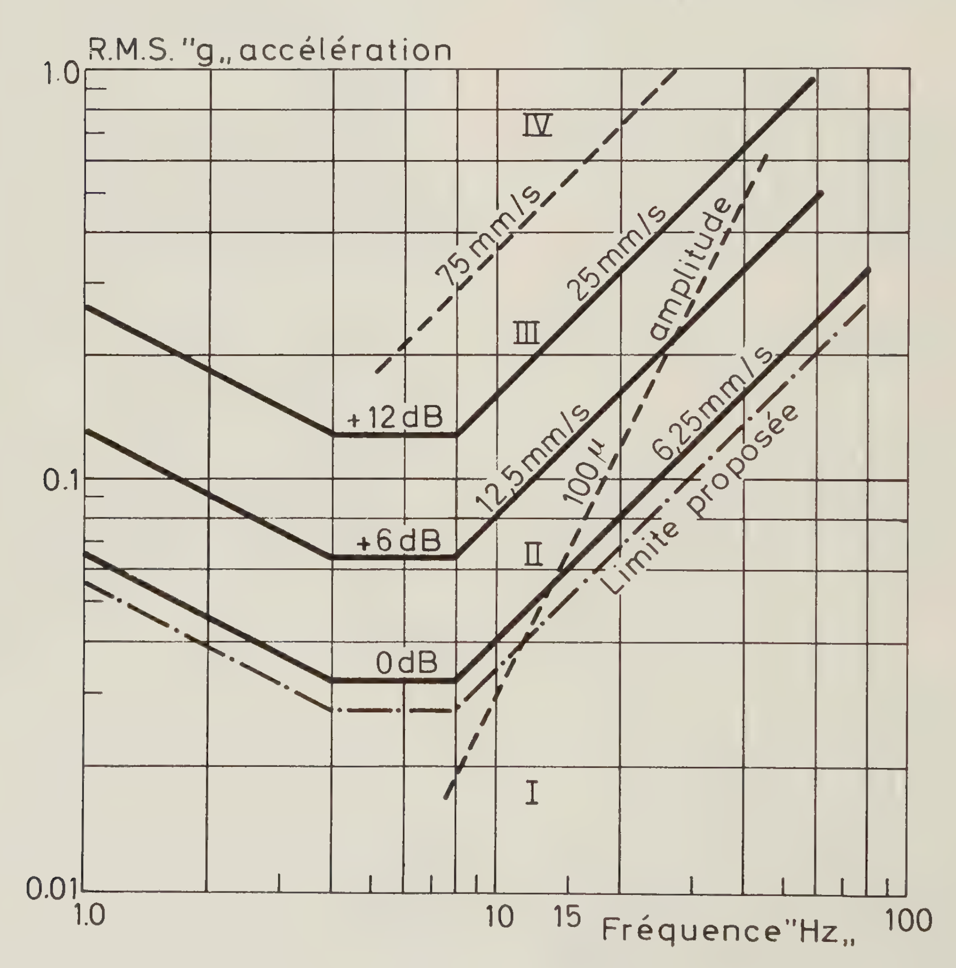
trillingen, waarbij meer aandacht wordt besteed aan de menselijke factor, hetgeen logisch is, en waarvoor de toelaatbare waarden worden uitgedrukt in versnellingen.

Voor de schokken (schoten) wordt als criterium de maximale trillingssnelheid genomen, net zoals in de andere ontwerpen, maar hier wordt enkel de verticale component $\hat{V}z$ beschouwd.

De inwerking van de trillingen wordt opgesplitst in vier categorieën (fig. 12) :

I : geen beschadiging ;
II : mogelijke barsten in het pleisterwerk (uitzonderlijke barsten in draagelementen) ;
III : mogelijke schade aan de draagelementen ;
IV : schade aan de draagelementen.

Op het dubbel logaritmisch diagram van de versnelling in functie van de frequentie stellen de grenzen van deze zones bij meer dan 8 Hz constante



R.M.S. " g „ accélération — *Versnelling* Limite proposée — *Voorgestelde grens* Fréquence " Hz „ — *Frequentie*

Fig. 12

Risques de dégâts aux constructions : accélérations de vibration (exprimées en % de l'accélération g de la pesanteur) en fonction de la fréquence de la vibration.

Gevaar voor beschadiging van gebouwen : trillingsversnellingen (uitgedrukt in g van de zwaartekracht) in functie van de trillingsfrequentie.

constantes (droites à 45 °). Les rapports entre ces vitesses sont exprimés en :

$$dB = 20 \log . \frac{V}{V_0}$$

Exemples

+ 6 dB correspond à $V = 2 \times V_0$
+12 dB = 6 × 2 dB correspond à $V = 2^2 \times V_0$
− 6 dB correspond à $V = V_0 \times 1/2$, etc...

Sur la base de ces essais, l'ISO propose les valeurs limites reprises à la figure 13.

snelheden voor (rechten op 45°). De verhoudingen tussen deze snelheden worden uitgedrukt in :

$$dB = 20 \log . \frac{V}{V_0}$$

Voorbeelden :

+ 6 dB stemt overeen met $V = 2 \times V_0$
+12 dB = 6 × 2 dB stemt overeen met $V = 2^2 \times V_0$
− 6 dB stemt overeen met $V = V_0 \times 1/2$ enz...

Op basis van deze proeven stelt ISO de grenswaarden voor die weergegeven zijn op figuur 13.

Destination de la construction *Bestemming van het gebouw*	Jour - *Overdag*		Nuit - *'s Nachts*	
	$\hat{V}z$ (mm/s)	Rapport *Verhouding* (dB)	$\hat{V}z$	Rapport *Verhouding*
Salles d'opération (1) *Operatiekamers*	4,15	− 6	0,13	− 36
Zone résidentielle *Woonzone*	8,30	0	0,26	− 30
Bureaux *Kantoren*	16,60	+ 6	16,60	+ 6
Ateliers *Werkplaatsen*	16,60	+ 6	16,60	+ 6

(1) Egalement les zones très sensibles telles que : centraux téléphoniques, laboratoires à équipement fragile, ordinateurs.
Ook zeer gevoelige zones, zoals : telefooncentrales, laboratoria met gevoelige apparatuur, computers.

Fig. 13

Vitesse verticales $\hat{V}_Z$ (en mm/s) admissibles à la base d'une construction (projet ISO), en cas de chocs (tirs) 8 - 80 Hz.

Verticale snelheden $\hat{V}_Z$ (in mm/s) die toelaatbaar zijn op de grondvesten van een gebouw (ISO-ontwerp) bij schokken (schoten) 8 - 80 Hz.

Quelques commentaires :

1°) Le projet tient compte :
— du type de sollicitation,
— de la destination de la construction,
— de l'heure où se produit la sollicitation.

2°) Les constructions sont supposées en bon état ; le critère état n'intervient donc pas.

3°) Du point de vue destination des résidences, le projet ne fait pas, comme la DIN 4150, de différence entre ville et zone rurale. Quant aux hôpitaux, seules les salles d'opération jouissent d'une protection spéciale.

4°) *Choix de la valeur 8,3 mm/s* (résidences)

a) On a choisi le centre de la zone II (fig. 12) à 15 Hz ; la vitesse correspondante vaut 7,5 mm/s et représente — 1,3 dB de la valeur F.D.P.,

Enige toelichting :

1°) Het ontwerp houdt rekening met :
— de vorm van belasting,
— de bestemming van het gebouw,
— het tijdstip van de belasting.

2°) De gebouwen worden verondersteld in goede staat te zijn ; het criterium « staat » speelt dus geen rol.

3°) Wat de bestemming van de woongebouwen betreft, maakt het ontwerp, in tegenstelling tot DIN 4150, geen verschil tussen stad en platteland. Wat de ziekenhuizen betreft, komen enkel de operatiekamers in aanmerking voor een speciale bescherming.

4°) *Keuze van de waarde 8,3 mm/s* (woongebouwen)

a) men koos het centrum van zone II (fig. 12) bij 15 Hz ; de overeenstemmende snelheid bedraagt 7,5 mm/s en vertegenwoordigt

très perceptible, mais supportable pour les gens durant la journée, si l'on ne dépasse pas 3 tirs isolés par jour (N.B. : les références F.D.P., en dB, ne sont pas celles de la figure 12).

Soit :

$$-1{,}3 = 20 \log . \frac{7{,}5}{V_0} \quad V_0 = 8{,}7 \text{ mm/s}$$

b) On s'est aussi inspiré de la DIN 4150, édition 1970, qui déjà retenait pour les résidences durant la journée : 5,5 mm/s (fig. 8 : KB = 4), qui représente — 2,8 dB de la valeur F.D.P.

Soit :

$$-2{,}8 = 20 \log . \frac{5{,}5}{V_0} \quad V_0 = 7{,}7 \text{ mm/s}$$

c) D'où la moyenne : 8,3 mm/s.

5°) Le projet n'est pas valable notamment pour les fréquences très basses, < 8 Hz. Attention dans ces cas aux résonances des constructions à étages multiples qui ont une fréquence propre $\simeq 10/n$ (n étant le nombre d'étages).

6°) Selon le projet, on pourrait accepter des vitesses de vibration plus élevées :

- le jour, à + 12 dB de la valeur F.D.P., soit $\simeq$ 33 mm/s,
- la nuit, dans des circonstances exceptionnelles, à des niveaux à déterminer, à condition que l'entreprise s'engage au préalable à indemniser.

— 1,3 dB van de F.D.P.-waarde, wat zeer goed merkbaar is maar verdraaglijk voor personen tijdens de dag, indien niet meer dan 3 afzonderlijke schoten per dag worden afgevuurd (N.B. : de F.D.P.-referenties in dB zijn niet die van figuur 12).

Stellen wij :

$$-1{,}3 = 20 \log . \frac{7{,}5}{V_0} \quad V_0 = 8{,}7 \text{ mm/s}$$

b) Men heeft zich eveneens gebaseerd op de DIN 4150, uitgave 1970, die reeds voor woongebouwen overdag 5,5 mm/s koos (fig. 8 : KB = 4), wat — 2,8 dB van de F.D.P.-waarde vertegenwoordigt.

Stellen wij :

$$-2{,}8 = 20 \log . \frac{5{,}5}{V_0} \quad V_0 = 7{,}7 \text{ mm/s}$$

c) Vandaar het gemiddelde : 8,3 mm/s.

5°) Het ontwerp geldt niet voor zeer lage frequenties, < 8 Hz. Let in die gevallen op de resonantie van de gebouwen met veel verdiepingen die een eigen frequentie hebben van $\simeq 10/n$ (n is het aantal verdiepingen).

6°) Volgens het ontwerp zouden hogere trillingssnelheden mogen aanvaard worden :

- overdag, bij + 12 dB van de F.D.P.-waarde, d.i. $\simeq$ 33 mm/s,
- 's nachts, in uitzonderlijke omstandigheden, op te bepalen niveaus, op voorwaarde dat het bedrijf zich er vooraf toe verbindt schadevergoeding te betalen.

4. *COMPARAISON ENTRE LES PROJETS DE NORMES*

Dans la figure 14, on a rassemblé les critères retenus par les différents projets.

1°) Protection des constructions

a) Seul le projet ISO tient compte de l'heure du tir (la DIN en tient compte vis-à-vis des gens).

b) Seul le projet AFTES tient compte de la qualité du terrain de fondation et ne tient pas compte de la susceptibilité humaine.

c) Seule la DIN retient à la fois la destination et l'état de la construction. Le projet AFTES ne s'intéresse qu'à l'état, mais de manière précise. L'ISO ne concerne que les constructions en bon état.

4. *VERGELIJKING TUSSEN DE ONTWERPNORMEN*

In figuur 14 zijn de criteria verzameld die in aanmerking worden genomen door de verschillende ontwerpen.

1°) Bescherming van gebouwen

a) Enkel het ISO-ontwerp houdt rekening met het tijdstip van de afvuring (de DIN houdt er rekening mee ten opzichte van personen).

b) Enkel het AFTES-ontwerp houdt rekening met de kwaliteit van de funderingsgrond en houdt geen rekening met de menselijke gevoeligheid.

c) Enkel de DIN houdt rekening met de bestemming en met de staat van het gebouw. Het AFTES-ontwerp houdt enkel rekening met de staat, maar dan wel duidelijk omlijnd. ISO geldt enkel voor gebouwen in goede staat.

	DIN 4150		AFTES	ISO
	Gens *Personen*	Constructions *Gebouwen*		
Type de sollicitation *Vorm van belasting*	x	x	x	x
Construction/*Gebouw* :				
destination/*bestemming*	x	x		x
état/*staat*		x	x	
Moment du tir *Tijdstip van schot*	x			x
Susceptibilité hum. *Mensel. gevoeligheid*	x			x
Qualité fondation *Kwaliteit fundering*			x	
Paramètre *Parameter*	< 2 Hz : accél./ *versnell.* > 2 Hz : V_z	V_R	< 10 Hz : amplit. > 10 Hz : V_R	V_z
Vitesses admissibles (résidences, état normal) mm/s *Toelaatbare snelheden (woongebouwen, normale staat)*	6 — 12	8 à/*tot* 30	7,5 à/*tot* 75	8,3 (16,6)
Gamme des fréquences (Hz) *Gamma van frequenties*	1 à/*tot* 80	qqes à 60 *enkele tot 60*	0 à/*tot* 10 10 à/*tot*	8 80

Fig. 14

Comparaison entre les projets de normes — *Vergelijking tussen de ontwerpen*

Vitesse maximale enregistrée V_z *Maximale gemeten snelheid V_z* (mm/s)	Pourcentage de plaignantes parmi les familles concernées *Klachtenpercentage op totaal van betrokken gezinnen* (%)	Sensation *Gewaarwording*
0,9	0,008	possible *mogelijk*
2,5	1,2	faible perception *zwakke waarneming*
5,1	4,5	perceptible *waarneembaar*
10,2	9,3	nettement perçu *duidelijk waargenomen*
15,3	18	surprise *verrassing*
20,3	24	désagréable *onaangenaam*
25,4	45	très désagréable *zeer onaangenaam*
102,0	65	insupportable *onverdraaglijk*
152,0	90	inadmissible *ontoelaatbaar*

Fig 15

Vitesses verticales et pourcentages de plaignants — *Verticale snelheden en klachtenpercentages*

2°) Tout tir à proximité d'habitations est pratiquement exclu la nuit, sauf selon l'ISO en cas de bureaux ou d'ateliers. Les seuls tirs praticables la nuit seraient :

- ceux à grande distance,
- quelques tirs exceptionnels (cas isolés, ou très faibles charges).

3°) La DIN (gens) et l'AFTES considèrent explicitement qu'aux basses fréquences, le paramètre représentatif est respectivement l'accélération et l'amplitude.

4°) Seul l'AFTES ne fixe pas une fréquence supérieure de validité grossière. Les limites des autres projets conviennent pour la plupart des tirs. Il y aurait des assouplissements pour les fréquences supérieures.

5. *CONCLUSIONS*

Les projets DIN (constructions) et AFTES ont retenu V_R comme paramètre ; les projets DIN (gens) et ISO ont retenu V_Z.

Malheureusement pour les comparaisons, le rapport entre V_R et V_Z est variable.

Mais en général V_Z est la composante la plus importante (dans les conditions des mesures, c'est-à-dire à quelques centaines de mètres maximum des tirs).

Par ailleurs, du point de vue pratique, la mesure de V_R demande un appareillage nettement plus coûteux.

Industriellement, dans la majorité des cas, il suffit de mesurer V_Z au moyen d'un appareil simple, « de chantier ». Par contre, notamment dans le cas de tirs à proximité de bâtiments très élevés, de centrales électriques, de laboratoires, etc..., nous pensons qu'il faut mesurer suivant les trois directions orthogonales, donc V_R.

Si, en guise de conclusion, nous devions proposer les vitesses limites de vibration vis-à-vis des habitations, il faudrait tenir compte à la fois de ces projets de normes et de l'expérience.

Projets de norme

D'après la figure 14, vis-à-vis des résidences en état normal, les limites pour V_R sont de 30 à 75 mm/s (AFTES, cas exceptionnels) et pour V_Z, 8 à 17 mm/s.

Expérience

D'après une enquête statistique aux U.S.A. sur les composantes verticales V_Z (fig. 15) :

2°) Schoten in de nabijheid van woningen zijn 's nachts vrijwel uitgesloten, behalve volgens ISO in geval van kantoren of werkplaatsen. 's Nachts zouden enkel schoten mogen worden afgevuurd :

- op grote afstand,
- in enkele uitzonderlijke gevallen (alleenstaande gevallen of zeer zwakke ladingen).

3°) De DIN (personen) en AFTES vermelden uitdrukkelijk dat bij lage frequenties de representatieve parameters respectievelijk de versnelling en de amplitude zijn.

4°) Enkel AFTES bepaalt geen grofweg toepasselijke bovengrens. De grenzen van de andere ontwerpen gelden voor de meeste schoten. Bij hogere frequenties zou een versoepeling worden toegestaan.

5. *BESLUITEN*

De ontwerpen DIN (gebouwen) en AFTES hebben V_R als parameter gekozen ; de ontwerpen DIN (personen) en ISO kozen V_Z.

Jammer voor de vergelijkingen, is de verhouding tussen V_R en V_Z veranderlijk.

Over het algemeen evenwel is V_Z de belangrijkste component (in de omstandigheden van de metingen, d.w.z. op maximum enkele honderden meter van het schietpunt).

Overigens, vanuit een praktisch oogpunt, vereist het meten van V_R een aanzienlijk duurdere apparatuur.

Op industrieel vlak volstaat het in de meeste gevallen V_Z te meten met een eenvoudig bedrijfstoestel. In andere gevallen daarentegen, zoals schoten in de nabijheid van zeer hoge gebouwen, van elektrische centrales, van laboratoria enz..., menen wij dat volgens de 3 orthogonale richtingen, dus V_R, moet worden gemeten.

Indien we tot besluit snelheidsgrenzen van de trillingen ten opzichte van woongebouwen zouden moeten voorstellen, zou tegelijk rekening dienen gehouden met deze ontwerpen van normen én met de ondervinding.

Ontwerpen van normen

Volgens figuur 14, wat woongebouwen in goede staat betreft, bedragen de grenzen voor V_R 30 tot 75 mm/s (AFTES, uitzonderlijke gevallen) en voor V_Z, 8 tot 17 mm/s.

Ondervinding

Volgens een statistische enquête uitgevoerd in de U.S.A. met betrekking tot de verticale componenten V_Z (fig. 15), is :

— jusqu'à 10 mm/s, le pourcentage de plaignants est faible ;
— de 10 à 25 mm/s, il augmente fortement : il double entre 10 et 15 mm/s, et à 25 mm/s il est quintuplé.

Ces valeurs sont généralement confirmées en Belgique.

Tenant compte à la fois des projets de normes et de l'expérience, on pourrait choisir comme vitesse-seuil, vis-à-vis des résidences, 15 à 20 mm/s en général, et autoriser des vitesses plus élevées dans les cas suivants :

— constructions très solides et minages à des heures favorables, après avoir averti la population ;
— minages exceptionnels.

Ces nouvelles limites plus faibles ne contredisent pas les 50 mm/s actuellement admis. On peut cependant dire que cette limite n'est pas nuancée. Les nouvelles limites donneraient une garantie raisonnable en matière d'environnement, dans les zones habitées. Elles tiennent compte de la qualité du sol de fondation ou de la qualité de la construction.

De toute façon, en cas de plainte, des mesures s'imposent ; il faut se méfier des réactions humaines qui sont subjectives : n'oublions pas, par exemple, qu'une source neuve de vibrations peut rappeler l'attention sur des fissures déjà anciennes !

Pour terminer, insistons sur les moyens de réduire la vitesse de vibration, produit de l'amplitude par la fréquence.

On a peu d'influence sur la fréquence, car celle-ci dépend essentiellement des conditions géologiques et de la position géométrique du front de tir et de l'endroit exposé à la vibration.

Par contre, on peut agir directement sur l'amplitude de vibration, par un choix judicieux des retards et une réduction de la charge par volée.

Bibliographie

1. Rapport n° 656 du « Bureau of Mines » : « Les vibrations dues aux tirs et leurs effets sur les constructions », par MM. Nicholls, Johnson et Duvall.
Traduction française dans la revue « *Explosifs* » 1973, n° 1 (p. 4 à 33) et n° 2 (p. 45 à 92).

— tot 10 mm/s het aantal klachten gering ;
— van 10 tot 25 mm/s het aantal klachten veel groter : het verdubbelt tussen 10 en 15 mm/s en is vijfmaal groter bij 25 mm/s.

Deze cijfers worden algemeen bevestigd in België.

Rekening houdend zowel met de ontwerpnormen als met de ondervinding, zou men als snelheidsdrempel voor woongebouwen in het algemeen 15 tot 20 mm/s kunnen kiezen en hogere snelheden toestaan in de volgende gevallen :

— zeer stevige gebouwen en schoten op gunstige tijdstippen, na waarschuwing van de bevolking ;
— uitzonderlijk springwerk.

Deze nieuwe, lagere grenzen zijn niet in tegenspraak met de huidige toegestane 50 mm/s. Men mag evenwel stellen dat deze grens niet genuanceerd is. De nieuwe grenzen zouden een behoorlijke waarborg bieden op het gebied van het leefmilieu in de woonzones. Er wordt rekening gehouden met de kwaliteit van de funderingsgrond of met de staat van het gebouw.

Hoe dan ook, wanneer klachten worden ingediend, moeten metingen worden gemaakt ; men moet er wel rekening mee houden dat menselijke reacties soms subjectief zijn : zo kan een nieuwe trillingsbron de aandacht vestigen op reeds bestaande barsten !

Wijzen we tenslotte op de middelen om de trillingssnelheid (amplitude × frequentie) te verkleinen.

Men kan weinig invloed uitoefenen op de frequentie, daar die hoofdzakelijk afhangt van de geologische omstandigheden, van de geometrische opstelling van het schietfront en van de plaats die blootgesteld is aan de trillingen.

Men kan daarentegen wel rechtstreeks invloed uitoefenen op de trillingsamplitude, door een oordeelkundige keuze van de vertragingen en een vermindering van de lading per salvoafvuring.

Bibliografie

1. Rapport nr 656 van « Bureau of Mines » : « De schietrillingen en hun invloed op de konstruktie », door MM. Nicholls, Johnson en Duvall.
Franse vertaling in het tijdschrift « *Explosifs* » 1973, nr 1 (blz. 4 tot 33) en nr 2 (blz. 45 tot 92).

2. « Etude des vibrations de tir aux carrières de Quenast » par MM. Brigode et Boxho. Revue *Annales des Mines de Belgique*, janvier 1977.

3. DIN 4150 : « Erschütterungen in Bauwesen » (3 parties), dernière édition (septembre 1975).

4. « Texte provisoire des recommandations concernant l'étude des effets sismiques de l'explosif » par l'AFTES.
Revue « *Tunnels et ouvrages souterrains* » n° 2, mars-avril 1974.

5. « United Kingdom proposals for vibration and chock limits for buildings with particular reference to human tolerance ». Document ISO/TC 108/WG 7 (U.K. - 4) août 1971.

2. « Studie van de trillingen bij massaspringwerk in de groeven van Quenast » door MM. Brigode en Boxho. Tijdschrift *Annalen der Mijnen van België*, januari 1977.

3. DIN 4150 : « Erschütterungen en Bauwesen » (3 delen), laatste editie (september 1975).

4. « Texte provisoire des recommandations concernant l'étude des effets sismiques de l'explosif » door AFTES.
Tijdschrift « *Tunnels et ouvrages souterrains* » n° 2, maart-april 1974.

5. « United Kingdom proposals for vibration and chock limits for buildings with particular reference to human tolerance ». Dokument ISO/TC 108/WG 7 (U.K. - 4) augustus 1971.

La désulfuration des gaz à la chaux

De ontzwaveling van gas door middel van kalk

Philippe DUMONT* et Robert BONSANG **

RESUME

La pollution engendrée par les émissions de dioxyde de soufre dans les gaz résiduaires est réglementée par Arrêté Royal. Parmi les dispositions envisagées pour réduire le volume des émissions de SO_2 , le lavage des gaz résiduaires au moyen d'une solution alcaline de chaux est une solution qui, à l'instar d'autres pays, devra être appliquée en Belgique.

Le procédé à la chaux est fiable et constitue la solution la plus économique pour éliminer le SO_2. Toutefois, il présente l'inconvénient de donner un sous-produit composé de sulfites et sulfates de calcium.

Un programme d'études sur la valorisation des boues a été établi avec le concours de divers centres de recherches. Il a fait l'objet d'une demande de subsides auprès de l'IRSIA.

En guise de travaux préliminaires, l'INIEX a effectué des essais d'oxydation de boues sulfitiques en sulfate de calcium. Les résultats indiquent que l'oxydation à l'air de ces boues est beaucoup plus aisée qu'on le croit généralement. Plus le milieu est acide, plus l'oxydation est rapide. Les consommations d'acide observées sont minimales dans la zone de pH comprise entre 4,5 et 5, compte tenu du temps nécessaire pour obtenir une oxydation complète.

SAMENVATTING

De luchtverontreiniging die wordt veroorzaakt door het vrijgeven van zwaveldioxyde bij de overblijvende gassen, wordt bepaald door een Koninklijk Besluit. Het wassen van de overblijvende gassen door een alkalische kalkoplossing is onder de schikkingen, die werden genomen om de hoeveelheid aan SO_2-emissie te herleiden, een oplossing die in navolging van andere landen, ook in België zal moeten worden toegepast.

De kalkmethode is betrouwbaar en vormt de zuinigste oplossing voor het elimineren van SO_2. Er is echter een nadeel aan verbonden : deze methode levert een nevenprodukt dat bestaat uit calciumsulfiet en -sulfaat.

Met de medewerking van verschillende onderzoekscentra werd een studieprogramma opgemaakt betreffende de valorisatie van de residus. Daarvoor werd een subsidie-aanvraag ingediend bij de IRSIA.

Bij wijze van voorafgaandelijke onderzoeken heeft het NIEB proefnemingen gedaan over de oxydatie van residus bestaande uit calciumsulfiet en -sulfaat. De resultaten tonen aan dat oxydatie aan de lucht van deze residus veel gemakkelijker verloopt dan men algemeen wilde aanvaarden. Deze oxydatie gebeurt nog sneller naarmate de omgeving zuurder is. Het verbruik van de zuren dat werd waargenomen, is het kleinst in het pH-gebied dat besloten ligt tussen 4,5 en 5, rekening houdend met de tijdspanne die nodig is voor een volledige oxydatie.

* Directeur du Département Recherche, Développement et Contrôle de Qualité, Carrières et Fours à Chaux Dumont-Wautier S.A. - B-4134 Hermalle-sous-Huy

** Chargé de Recherches à l'INIEX, Rue du Chéra 200 - B-4000 Liège.

** Gecommitteerd onderzoeker bij het NIEB, Rue du Chéra 200 - B-4000 Liège.

ZUSAMMENFASSUNG

Die auf die Abgabe von Schwefeldioxid in den Restgasen zurückzuführende Luftverunreinigung wird durch königliche Verordnung geregelt. Unter den in Betracht gezogenen Maßnahmen zur Herabsetzung der abgegebenen Menge von SO_2 stellt die Abwaschung der Restgase mittels einer alkalischen Kalklösung eine Lösung dar, die wie in anderen Ländern auch in Belgien Anwendung finden muß.

Das Kalkverfahren ist zuverlässig und stellt die wirtschaftlichste Lösung zur Abschaffung des Schwefeldioxids dar. Allerdings bringt sie den Nachteil mit sich, daß sich daraus ein Nebenerzeugnis, zusammengesetzt aus Kalziumsulfiten bzw. Kalziumsulfaten, ergibt.

Ein Untersuchungsprogramm über die Wertsteigerung des Schlamms wurde in Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungsanstalten aufgestellt. Subventionen zur Unterstützung dieses Programms wurden beim IRSIA beantragt.

Als Vorarbeit hat das INIEX bereits Oxidierungsversuche von Sulfitschlammarten zu Kalziumsulfat durchgeführt. Aus den Ergebnissen geht hervor, daß die Luftoxidierung dieser Schlammsorten viel leichter ist als man im allgemeinen glaubt. Je saurer das Medium ist, desto schneller erfolgt die Oxydierung. Der beobachtete Säureverbrauch ist minimal im pH-Bereich zwischen 4,5 und 5 unter Berücksichtigung der erforderlichen Zeitspanne zur Erzielung einer vollständigen Oxidierung.

SUMMARY

The pollution caused by emissions of sulphur dioxide in waste gases is regulated in Belgium by Arrêté Royal. Among the provisions aimed at reducing the volume of SO_2 emission is one measure which should be employed - as it is in other countries - in Belgium, namely, scrubbing the waste gases in alkaline lime water.

The lime-scrubbing process is reliable and offers the most economic means of removing the SO_2. However, it has the disadvantage of yielding a by-product consisting of sulphites and sulphates of calcium.

A study programme covering the utilization of these sludges has been initiated with the help of various research institutes; financial support from IRSIA has been applied for.

As a preliminary step, INIEX has carried out trials of oxidizing the sulphite sludges into calcium sulphate. The results obtained show that atmospheric oxidation of these sludges is much easier than is generally thought. The more acid the medium is, the more rapidly the conversion takes place. The observed consumption rates of acid are very low in the range from 4.5 to 5 pH, allowing for the time necessary for complete oxidation to occur.

---

0. INTRODUCTION

Les problèmes écologiques sont à l'ordre du jour et tout particulièrement ceux qui concernent la pollution de l'air.

Parmi les principaux polluants gazeux, le SO_2 doit retenir toute notre attention :

— Il est particulièrement nocif pour la santé de l'homme et des animaux. Il affecte également la végétation.
— Nous vivons dans un pays hautement industrialisé et à forte densité de population. Dès lors, nos besoins en énergie sont importants.

Outre l'énergie d'origine nucléaire, nous disposons principalement d'énergie provenant de la combustion du pétrole, du gaz naturel et du charbon.

0. INLEIDING

Tegenwoordig zijn de ecologische problemen aan de orde van de dag, en speciaal nog deze problemen die te maken hebben met de luchtverontreiniging.

Wanneer we spreken over de belangrijkste vervuilende gassen, moeten we speciaal onze aandacht vestigen op SO_2 , omdat :

— SO_2 uitzonderlijk veel schade aanricht aan de gezondheid van mens en dier, en daarbij ook de vegetatie aantast ;
— wij leven in een sterk geïndustrialiseerd land met een grote bevolkingsdichtheid, waardoor onze behoeften aan energie des te belangrijker worden.

Naast de kernenergie beschikken wij hoofdzakelijk over een energie die wordt gewonnen uit de verbranding van petroleum, aardgas en steenkool.

Il s'ensuit qu'en Belgique la concentration du SO_2 à l'immission est très élevée.

Quelques chiffres publiés par l'Institut Météorologique de Belgique en témoignent. Par exemple, pour le mois de septembre 1973, dans l'agglomération de Liège, les concentrations moyennes en SO_2 étaient de 114 $\mu g/Nm^3$ avec des valeurs maximales de 591.

On retrouve des valeurs identiques pour les principales agglomérations du pays comme Bruxelles, Anvers, Gand et Charleroi.

Ces teneurs en SO_2 associées à la présence de fumées dont les concentrations varient entre 32 et 167 $\mu g/Nm^3$ pour l'agglomération de Liège et pour ce même mois de septembre, constituent très certainement une toxicité importante.

Il était temps d'en prendre conscience et d'adopter des mesures en vue de réduire cette pollution.

C'est l'objet de l'Arrêté Royal relatif à la prévention de la pollution atmosphérique par les oxydes de soufre dont le mérite revient à M. J. Stassen, Directeur Divisionnaire des Mines.

Dans cette législation il faut souligner que, parmi les dispositions envisagées pour réduire la quantité de SO_2, il est prévu d'appliquer la technique qui consiste à désulfurer les gaz de combustion.

D'autres dispositions ont été prises à l'étranger. Aux USA, la valeur moyenne de la concentration de SO_2 à l'immission est limitée à 94 $\mu g/Nm^3$ avec une valeur maximale sur 24 h de 400 $\mu g/Nm^3$.

Au Japon, le maximum toléré est de 125 $\mu g/Nm^3$. En Allemagne, les installations de chauffe à combustibles solides ne peuvent brûler un charbon dont la teneur en soufre est supérieure à 1 %. Dans les autres cas, on impose une désulfuration des gaz de combustion avec un rendement supérieur à 80 %. Toujours en Allemagne, pour les combustibles liquides, la teneur en soufre est limitée à 0,5 ou 1 % selon la hauteur de la cheminée. Pour des teneurs supérieures à 1 %, on impose une désulfuration des gaz de combustion.

Les objectifs de la Commission des Communautés Européennes au cours du Conseil du 25 février 1976 ont été fixés à 80 $\mu g/Nm^3$ en SO_2 associé à une concentration des particules en suspension supérieure à 40 $\mu g/Nm^3$, ou de 120 $\mu g/Nm^3$ en SO_2 pour une concentration des fumées inférieure à 40 $\mu g/Nm^3$.

En Belgique, pour abaisser la concentration en SO_2 à l'immission, un programme d'actions a été établi

Daaruit volgt dat de concentratie van SO_2 bij immissie zeer hoog is.

Enkele cijfers die werden gepubliceerd door het Belgisch Meteorologisch Instituut leveren daarvan het bewijs. Bijvoorbeeld, tijdens de maand september van het jaar 1973 bedroeg in de agglomeratie van Luik de gemiddelde concentratie van SO_2 114 $\mu g/Nm^3$ met enkele pieken van 591 $\mu g/Nm^3$.

Dezelfde waarden vindt men terug in de belangrijkste agglomeraties van het land : Brussel, Antwerpen, Gent en Charleroi.

Het SO_2-gehalte dat gepaard gaat met een rookvorming, waarvan de concentraties schommelen tussen 32 en 167 $\mu g/Nm^3$ voor de agglomeratie Luik tijdens dezelfde periode, vormt een hoge giftigheidsgraad.

Het werd hoog tijd dat men zich van dit feit bewust werd, en dat maatregelen werden genomen om deze luchtverontreiniging te beperken.

Dit maakt het onderwerp uit van het Koninklijk Besluit betreffende de voorkoming van de luchtverontreiniging door zwaveloxyde, waarvan de verdienste toekomt aan de heer Stassen, Districtsdirecteur voor de Mijnen.

Men moet er de nadruk op leggen dat bij deze wetgeving, bij de bepalingen omtrent de vermindering van de hoeveelheid SO_2, er werd voorzien deze techniek toe te passen die erin bestaat het verbrandingsgas te ontzwavelen.

In het buitenland werden andere schikkingen getroffen. In de USA is de gemiddelde waarde van de concentratie aan SO_2 bij immissie beperkt tot 94 $\mu g/Nm^3$ met een maximum-waarde van 400 $\mu g/Nm^3$ op 24 uur.

In Japan bedraagt de toegestane maximum-waarde 125 $\mu g/Nm^3$. In Duitsland mogen de verwarmingsinstallaties met vaste brandstof geen steenkool branden, waarvan het zwavelgehalte hoger ligt dan 1 %. Zoniet is er een ontzwaveling van de verbrandingsgassen verplicht met een rendement van 80 %. Wat de vloeibare brandstof betreft, wordt steeds in Duitsland het zwavelgehalte beperkt tot 0,5 of 1 % volgens de hoogte van de schoorsteen. Voor een zwavelgehalte dat hoger ligt dan 1 %, is een ontzwavelingsinstallatie van de verbrandingsgassen verplicht.

De streefwaarden van de Commissie van de Europese Gemeenschap tijdens de Raad van 25 februari 1976 werden vastgelegd op 80 $\mu g/Nm^3$ SO_2 met een concentratie aan zwevende stofdeeltjes hoger dan 40 $\mu g/Nm^3$, of 120 $\mu g/Nm^3$ aan SO_2 voor een rookconcentratie lager dan 40 $\mu g/Nm^3$.

Om de concentratie aan SO_2 bij immissie te verminderen, werd er in België een actieprogramma op-

que l'on pourrait résumer de la façon suivante ; on a prévu :

- un accroissement de la production d'énergie nucléaire ;
- un maintien du niveau actuel de la consommation de charbon belge dont la teneur en S, rappelons-le, ne dépasse pas 1 % ;
- une augmentation de la consommation en gaz naturel exempt de soufre ;
- la construction de hautes cheminées en vue de disperser les polluants ;
- et puis, on s'est dit qu'il appartenait aux raffineries de pétrole de faire le nécessaire pour désulfurer les combustibles liquides.

Ainsi, la question semblait être réglée d'une façon à la fois fort élégante et apparemment économique.

Aujourd'hui, il est curieux de constater combien, dans ce domaine, les données du problème peuvent changer rapidement en quelques années.

— L'énergie nucléaire est de plus en plus contestée.

— La production de charbon belge sera limitée à son niveau actuel et ne pourra répondre aux besoins croissants d'énergie.

— La fourniture de gaz naturel par les Pays-Bas semble être limitée.

— La dispersion des polluants au moyen de hautes cheminées est une solution coûteuse. C'est une technique prônée principalement par les Britanniques. Son application générale aurait comme conséquence de s'échanger nos polluants d'un pays à l'autre.

En conséquence, elle est controversée par plusieurs pays, notamment la Suède qui constate une acidité croissante des précipitations. Il faut reconnaître également qu'on est très ignorant du comportement des gaz sulfureux dans la haute atmosphère et des réactions physico-chimiques qui peuvent s'y produire.

— En ce qui concerne l'élimination du soufre des combustibles liquides, les procédés conduisent à une concentration du soufre dans les fractions lourdes. Le coût du procédé basé sur le principe de l'hydrodésulfuration devient prohibitif pour ces fractions lourdes.

Par ailleurs, la tendance actuelle est de réserver les combustibles liquides et pauvres en soufre à des usages plus nobles comme la pétrochimie, ainsi qu'à l'usage domestique et à celui de la petite industrie.

gebouwd, dat men als volgt kan samenvatten, er werd voorzien dat :

- de productie van kernenergie zou toenemen ;
- het actuele Belgische peil van steenkoolverbruik, waarvan het S-gehalte, laten we het nog even herhalen, niet hoger ligt dan 1 %, zou worden behouden ;
- het verbruik van aardgas, dat geen zwavel bevat, zou worden verhoogd ;
- er hoge schoorstenen zouden worden gebouwd om de verontreinigende stoffen beter te verspreiden ;
- en tenslotte werd erop gewezen dat het de taak is van de petroleumraffinaderijen, het nodige te ondernemen om de vloeibare brandstof te ontzwavelen.

Op deze manier leek het probleem schijnbaar op een minnelijke en zuinige wijze te zijn opgelost.

Tegenwoordig is het merkwaardig vast te stellen hoe vlug op dit gebied de gegevens van het probleem, in een tijdspanne van enkele jaren kunnen veranderen.

— Er wordt steeds meer kritiek geleverd op de kernenergie.

— De Belgische steenkoolproductie zal op het huidige peil behouden blijven en zal niet meer kunnen beantwoorden aan de steigende energiebehoeften.

— De toelevering van aardgas uit Nederland schijnt te worden beperkt.

— De betere verspreiding van verontreinigende stoffen door middel van hoge schoorstenen vormt een meerkost. Het is een techniek die vooral door de Britten wordt aangeprezen. Een algemene toepassing van dit voorstel zou voor gevolg hebben dat de verontreinigende stoffen over de grenzen heen van land tot land worden overgebracht.

Bijgevolg ondervindt deze oplossing de tegenkanting van verscheidene landen, met name Zweden, dat een steeds groter gehalte aan zuur in de neerslag vaststelt. Men moet echter erkennen dat het gedrag van zwavelhoudende gassen in de hoge atmosfeer en de fysico-chemische reacties, die zich daar kunnen voordoen, nog een onverkend terrein blijft.

— Wat de zwavelafbouw van vloeibare brandstof betreft, leiden de procédés tot een zwavelconcentratie in de zware fracties. De kosten van dit procédé, dat is gebaseerd op hydro-ontzwaveling, maken de concrete toepassing ervan voor zware fracties onbetaalbaar. Bovendien bestaat de huidige tendens erin, de zwavelarme vloeibare brandstof uitsluitend te gebruiken voor de meer gesofisticeerde bewerking zoals de petrochemie, voor het huisgebruik en voor de verwerking in de kleinindustrie.

Les combustibles plus riches en soufre pourraient continuer à être consommés dans les grosses installations industrielles moyennant une désulfuration des gaz de combustion.

Les réserves de charbons dans le monde constituent la première source d'énergie disponible.

Actuellement, la Belgique importe des quantités croissantes de charbons étrangers, principalement en provenance des Etats-Unis, de Grande-Bretagne, de Pologne et d'Allemagne.

La plupart de ces combustibles contiennent des teneurs élevées en soufre. Leur combustion engendrera des problèmes d'émission de SO_2. Déjà en Allemagne, les nouvelles centrales thermiques prévoient l'aménagement d'une installation de désulfuration des gaz de combustion, dans laquelle les combustibles très sulfureux seront brûlés. C'est une sage mesure si l'on prend en considération les objectifs que la Commission des Communautés Européennes s'est fixés dans le domaine de la concentration en SO_2 à l'immission.

1. *PROGRAMME DE LA RECHERCHE ENTREPRISE PAR L'UNION DES PRODUCTEURS DE CHAUX*

Parmi les nombreuses techniques de désulfuration des gaz de combustion, il apparaît que le procédé par lavage humide au moyen d'une solution alcaline de chaux est la solution la plus fiable et la plus économique.

C'est la raison pour laquelle ce procédé connaît un développement industriel important dans différents pays.

Le rendement en désulfuration varie entre 90 et 95 % et le rendement en solide atteint plus de 90 %. Le procédé présente toutefois un inconvénient. L'absorption du SO_2 par la chaux donne comme sous-produit une boue composée d'un mélange de sulfites et sulfates de calcium.

Les quantités de résidus sont importantes. Leur dépôt pose un problème par la présence des sulfites de calcium qui pourraient, par leurs propriétés réductrices, créer une autre forme de pollution.

Plusieurs recherches ont déjà été menées à l'étranger sur ce sujet. Dans certains cas, des solutions ont été trouvées. Aux Etats-Unis, les résidus sulfitiques sont mélangés à des cendres volantes et à un agrégat pierreux en vue de constituer un matériau utilisé en construction routière. Au Japon, les sulfites sont oxydés en sulfates de calcium et utilisés pour la fabrication du ciment et du plâtre. Il faut souligner que chaque solution est spécifique aux conditions économiques du pays où elle est appliquée, aussi

De brandstof, die rijker is aan zwavel, zou verder kunnen worden gebruikt in de grootindustrie, waarbij dan echter een installatie voor de ontzwaveling van de verbrandingsgassen moet worden voorzien.

De steenkoolreserves in de wereld vormen de eerste beschikbare energiebron.

Voor het ogenblik betrekt België steeds grotere hoeveelheden steenkool uit het buitenland, vooral uit de Verenigde Staten, Groot-Brittannië, Polen en Duitsland.

Het grootste deel van deze steenkool heeft een hoog gehalte aan zwavel. Het gebruik van die brandstof veroorzaakt problemen omtrent de emissie van zwavel. De nieuwe thermische centrales in Duitsland voorzien nu reeds het plaatsen van een ontzwavelingsinstallatie voor de verbrandingsgassen, waarin sterk zwavelhoudende brandstof zal worden verbrand. Het is een wijs besluit de streefwaarden, die de Commissie van de Europese Gemeenschap heeft bepaald op het gebied van de concentratie van SO_2 bij immissie, in overweging te nemen.

1. *ONDERZOEKSPROGRAMMA VAN DE UNIE VAN KALKPRODUCENTEN*

Onder de talrijke ontzwavelingstechnieken voor verbrandingsgassen schijnt het procédé met vochtige wassing door middel van een alkalische kalkoplossing de meest betrouwbare en de goedkoopste oplossing te zijn.

Dat is de reden, waarom dit procédé zo'n sterke industriële ontwikkeling kent in verscheidene landen.

Het rendement bij ontzwaveling schommelt tussen 90 en 95 % en het rendement bij vaste stoffen bereikt meer dan 90 %. Het procédé heeft echter een nadeel. De opslorping van SO_2 door kalk geeft een nevenprodukt, met name een residu dat bestaat uit calciumsulfieten en -sulfaten.

Deze hoeveelheden aan residu zijn zeer aanzienlijk. Hun neerslag betekent een probleem door de aanwezigheid van calciumsulfieten, die door hun reductie-eigenschappen een andere vorm van verontreiniging kunnen vormen.

In het buitenland werden daaromtrent reeds vele onderzoeken gedaan. In bepaalde gevallen werd er een oplossing gevonden. In de Verenigde Staten werden de sulfietresidus vermengd met zwevende asdeeltjes en met een steenagregaat om een bouwstof te vormen, die kan worden gebruikt voor de wegenaanleg. In Japan worden de sulfieten geoxydeerd tot calciumsulfaten voor de vervaardiging van cement of van gips. We moeten er de nadruk op leggen dat iedere oplossing afhangt van de economische omstandigheden van het land, waar deze oplossing in toepassing wordt gebracht. Ieder land moet de guns-

chaque pays se doit de rechercher la valorisation qui lui est la plus profitable.

L'Union des Producteurs de Chaux, en collaboration avec l'INIEX et différents centres de recherches, a sollicité l'IRSIA en vue d'obtenir les crédits nécessaires pour mener à bien une étude sur la valorisation des résidus de la désulfuration des gaz à la chaux.

L'étude s'étalera sur une période de deux ans. Les boues proviendront d'une installation industrielle de désulfuration des gaz qui a été mise au point par la société Vieille-Montagne. Le programme se subdivise en six parties.

— Nous étudierons les possibilités d'oxydation des sulfites en sulfates par voie sèche.
— Nous rechercherons, en collaboration avec le Centre Scientifique et Technique de la Construction, les possibilités d'utiliser les boues dans le domaine des matériaux de construction.
— L'étude des risques de pollution des nappes phréatiques lors de l'épandage des matériaux sera examinée par l'INIEX.
— Les valorisations possibles des boues dans le domaine agricole et routier seront prises en charge par l'Institut Agronomique de Gembloux et par le Centre de Recherches Routières.
— Une petite installation portative capable de produire par barbotage des boues sulfitiques a été réalisée à l'INIEX. Elle permettra d'effectuer des prélèvements sur des gaz résiduaires et de se rendre compte de l'influence d'éventuelles impuretés pour les différents domaines de valorisation des boues.

Ces boues devront être oxydées avant leur envoi aux collaborateurs extérieurs. C'est pourquoi l'INIEX a déjà réalisé quelques essais d'oxydation.

tigste oplossing zoeken voor de recyclage van dit residu.

De Unie van Kalkproducenten, in samenwerking met het NIEB en met verschillende onderzoekscentra heeft aan de IRSIA verzocht de nodige kredieten te willen verstrekken om een studie over de valorisatie van de residus van de gasontzwaveling met kalk tot een goed resultaat te brengen.

De studie zal twee jaar in beslag nemen. De residus zullen afkomstig zijn van een industriële ontzwavelingsinstallatie van gassen, die werd gebouwd door de vennootschap Vieille-Montagne. Het programma wordt gesplitst in vier onderverdelingen.

— Wij zullen de mogelijkheden tot droge oxydatie van sulfieten en sulfaten bestuderen.
— Met het Technische en Wetenschappelijke Centrum voor de Bouwnijverheid zullen wij de mogelijkheden onderzoeken om de residus als bouwmateriaal te kunnen gebruiken.
— De studie van eventuele verontreinigingsgevaren in de natuurlijke grondwaterlagen bij het verspreiden van het materiaal zal door NIEB worden uitgevoerd.
— De eventuele valorisatie van de residus bij het gebruik in de landbouw en bij de wegenbouw zal worden onderzocht door het Landbouwkundige Instituut van Gembloux en door het Wegenresearchcentrum.
— Het NIEB heeft een kleine draagbare installatie tot stand gebracht, die in staat is door opborreling sulfietresidus te produceren. Deze installatie zal het mogelijk maken stalen van residugassen te nemen en na te gaan welke invloed eventuele verontreinigingen hebben in de verschillende valorisatiegebieden van de residus.

Deze residus moeten eerst geoxydeerd zijn alvorens zij worden verstuurd naar medewerkers, vreemd aan het studieprojekt. Daarom heeft het NIEB reeds enkele oxydatieproeven uitgevoerd.

2. *RESULTATS DES ESSAIS D'OXYDATION DES BOUES SULFITIQUES*

Le but de ces essais était, d'une part, de mettre au point une technique de laboratoire permettant d'oxyder assez rapidement des échantillons de plusieurs kilos de boues et, d'autre part, d'étudier l'influence du pH, du débit d'air, de la concentration en réactifs et de la température sur la vitesse d'oxydation.

Les essais ont été réalisés dans une petite cellule de flottation, d'une capacité de 6 litres, munie d'une turbine tournant à 1450 tr/min environ.

2. *RESULTATEN VAN DE OXYDATIEPROEVEN MET SULFIETRESIDUS*

Doel van deze proeven was, enerzijds, een laboratoriumtechniek uit te werken, die het mogelijk maakt op een snelle manier residustalen van meerdere kg te oxyderen, en anderzijds de invloed van de pH, van het luchtdebiet, van de concentratie aan reagentia en van de temperatuur op de oxydatiesnelheid na te gaan.

De proeven werden uitgevoerd in een flotatiecel met een inhoud van 6 liter en uitgerust met een turbine, die draait tegen ongeveer 1.450 toeren per minuut.

La rotation de la turbine, dont l'axe est creux, crée en son centre une dépression qui aspire un débit d'air contrôlé et mesuré.

Les boues sulfitiques utilisées proviennent de l'installation de désulfuration des gaz de grillage de blende d'une usine française de la Vieille-Montagne.

Au départ, leur pH se situe aux environs de 9. Elles contiennent environ 20 % de matières solides constituées de 40 % de sulfite de calcium anhydre et 40 % de sulfate de calcium anhydre, le reste étant principalement l'eau de cristallisation, des impuretés provenant de la chaux de départ et la fraction de celle-ci qui n'a pas réagi.

Les essais ont été réalisés en discontinu sur des échantillons de 5 kg.

La vitesse d'oxydation dépend fortement du pH et elle n'atteint une vitesse appréciable qu'en milieu acide.

Il faut donc ajouter de l'acide, non seulement au départ, mais aussi pendant toute la durée de l'essai afin de maintenir le pH constant. L'acide utilisé lors des essais était de l'acide sulfurique de densité 1,84 dilué 10 fois, sauf dans un cas où on a utilisé une solution contenant 5 % d'anhydride sulfureux.

Huit essais, d'une durée de deux heures chacun, ont été effectués : quatre essais à différents pH et avec un même débit d'air ; deux essais à pH 4,5 et avec des débits d'air différents ; un essai avec des boues beaucoup plus diluées, et finalement, un essai avec l'acide sulfureux au lieu d'acide sulfurique.

Ce dernier essai était destiné à comparer la vitesse d'oxydation obtenue quand les boues sont acidifiées non pas par un ajout d'acide sulfurique, mais simplement, à partir du SO_2 des fumées.

Les réactions qui se produisent sont exothermiques. L'appareillage utilisé ne permettait pas de maintenir la température constante. Celle-ci a donc évolué au cours des essais depuis 25-30°C jusqu'à 40-45°C.

Un essai préalable effectué à plus petite échelle a montré que son influence est très faible entre 25 et 50°C ; néanmoins, un échantillon a été prélevé toutes les demi-heures et l'évolution de la température a été notée.

Chaque échantillon prélevé a été séché sous vide et à la température ambiante. Sa teneur en sulfite a alors été analysée par titrimétrie.

Mais tout le sulfite de calcium disparu au cours de l'essai n'a pas été éliminé par oxydation. Une partie de celui-ci a réagi avec l'acide sulfurique pour se transformer en sulfate de calcium, en eau et en SO_2

De rotatie van de turbine met een holle draaias veroorzaakt in zijn centrum een gebied van lage luchtdruk, dat een gecontroleerde en gemeten hoeveelheid lucht aanzuigt.

De gebruikte sulfietresidus komen van de ontzwavelingsinstallatie voor gassen van blenderoosting in een Franse fabriek van Vieille-Montagne.

Aanvankelijk bedraagt hun pH ongeveer 9. Zij bevatten ongeveer 20 % vaste stoffen die voor 40 % uit watervrij calciumsulfiet, en voor 40 % uit watervrij calciumsulfaat bestaan, de rest bestaat hoofdzakelijk uit kristallisatiewater, onzuivere stoffen die voortkomen van uitgangskalk, en uit de kalkfractie die geen reactie heeft ondergaan.

De proeven werden met tussenpozen uitgevoerd op stalen van 5 kg.

De oxydatiesnelheid is in sterke mate afhankelijk van de pH, en zij bereikt slechts een aanzienlijke snelheid in een zuur milieu.

Wij moeten dus niet alleen bij het begin, maar ook tijdens de hele duur van de proef een zuur bijvoegen om de pH constant te kunnen houden. Het zuur dat werd gebruikt tijdens de proeven, was zwavelzuur met een densiteit van 1,84, dat 10 keer werd verdund, behalve wanneer men een oplossing gebruikte met 5 % zwavelig zuuranhydride.

Er werden acht proeven, telkens met een duur van twee uur, uitgevoerd : vier proeven met verschillende pH en met een zelfde luchtdebiet ; twee proeven bij 4,5 pH en met verschillend luchtdebiet ; één proef met veel sterker verdunde residus en tenslotte één proef met zwaveligzuur in plaats van zwavelzuur.

Doel van deze laatste proef was de vergelijking te maken met de oxydatiesnelheid die wordt bereikt, wanneer de residus werden aangezuurd, niet door toevoeging van zwavelzuur, maar gewoon door de inwerking van SO_2 in rook.

De reakties die zich voordeden, gaven warmte af. De gebruikte apparatuur maakte het niet mogelijk de temperatuur constant te houden ; de temperatuur ontwikkelde zich dus tijdens de proeven van 25-30°C tot 40-45°C.

Een voorafgaande proef die op kleine schaal werd uitgevoerd, heeft aangetoond dat de werking tussen 25 en 50°C zeer zwak blijft. Toch werd er om het half uur een staal genomen en werd de temperatuursverandering genoteerd.

Ieder genomen staal werd vacuum-gedroogd op de omgevingstemperatuur. Zijn gehalte aan sulfiet werd dan geanalyseerd door titrimetrie.

Al het calciumsulfiet dat tijdens de proeven werd afgebouwd, is echter niet helemaal door oxydatie geëlimineerd. Een deel van het calciumsulfiet heeft gereageerd op het zwavelzuur om te worden omgevormd in calciumsulfaat, in water en in SO_2 , dat is

qui s'est dégagé. Le dégagement de SO_2 a pour effet d'augmenter le pH.

On a vérifié expérimentalement qu'une mole d'acide sulfurique est nécessaire pour maintenir constant le pH d'une boue d'où se dégage une mole de SO_2.

La quantité de SO_2 dégagée a donc été déterminée à partir des quantités d'acide ajoutées pour maintenir le pH constant.

Il est toutefois possible que le dégagement de SO_2 déterminé de cette façon soit surestimé, car cette méthode suppose que toute la chaux contenue dans les boues est neutralisée dès le départ.

2.1. *Résultats*

La figure 1 indique les teneurs en sulfite observées lors des essais réalisés à débit d'air constant et à différents pH.

On constate d'emblée que la variation de concentration en fonction du temps est indépendante de la quantité de sulfite présente dans les boues ; cette variation traduit une vitesse d'oxydation d'ordre zéro par rapport au sulfite.

A partir de ces valeurs, et après avoir déduit les quantités de sulfite éliminées par dégagement de SO_2, on peut tracer la courbe de vitesse d'oxydation en fonction du pH (fig. 2).

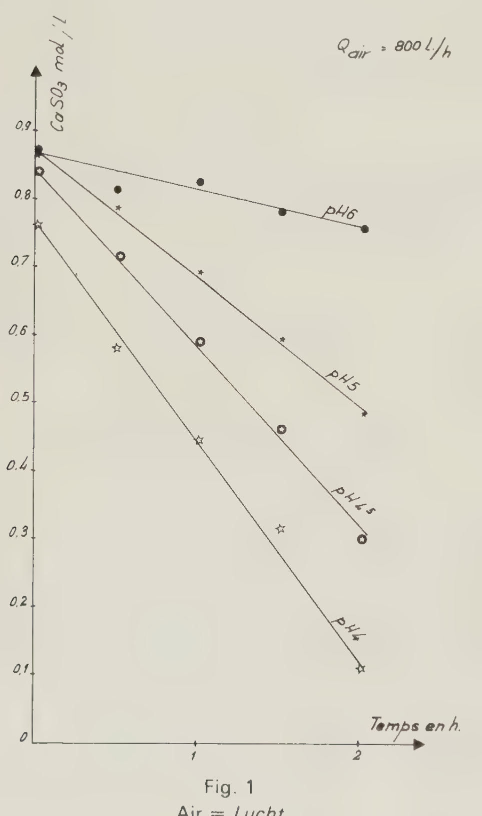


Fig. 1
Air = *Lucht*
Temps en h. = *Tijd in uur*

vrijgekomen. Het vrijkomen van SO_2 heeft een verhoging van de pH tot gevolg.

Op experimentele weg werd geconstateerd dat er één mol zwavelzuur nodig is om de pH constant te houden van een residu, waaruit één mol SO_2 vrijkomt.

De hoeveelheid vrijgekomen SO_2 werd dus ook bepaald uitgaande van de hoeveelheden zuur, die werden toegevoegd om de pH constant te houden.

De mogelijkheid blijft echter bestaan dat het vrijkomen van SO_2, dat op deze manier werd bepaald, wordt overschat omdat deze methode veronderstelt dat al het kalk, dat in de residus aanwezig is, reeds vanaf het begin is geneutraliseerd.

2.1. *Resultaten*

Figuur 1 geeft ons het gehalte aan sulfiet aan, die werd waargenomen tijdens de proeven die werden uitgevoerd met een constant luchtdebiet en met verschillende pH.

Men stelt meteen vast dat de wijziging in de concentratie in functie van de tijd onafhankelijk is van de hoeveelheid in de residus aanwezig sulfiet. Deze wijziging wijst op een oxydatiesnelheid, die nul bedraagt ten overstaan van het sulfiet.

Uitgaande van deze waarden, en na aftrekking van de hoeveelheden sulfiet die werden afgebouwd door het vrijkomen van SO_2, kunnen we de kurve van de oxydatiesnelheid maken in functie van de pH (figuur 2).

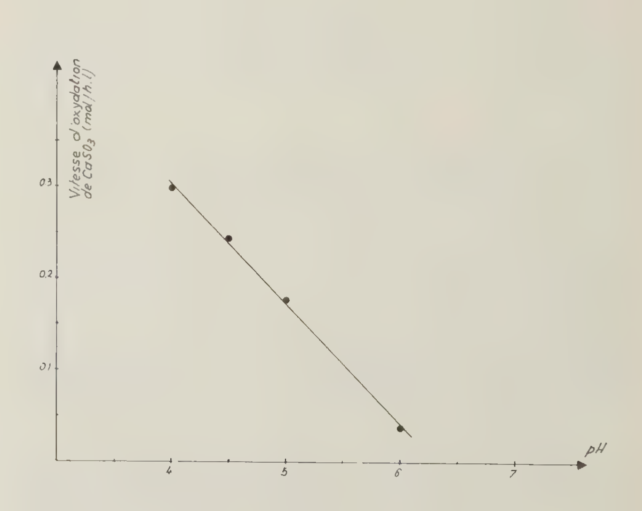


Fig. 2
Vitesse d'oxydation de $CaSO_3$ = *Oxydatiesnelheid van $CaSO_3$*

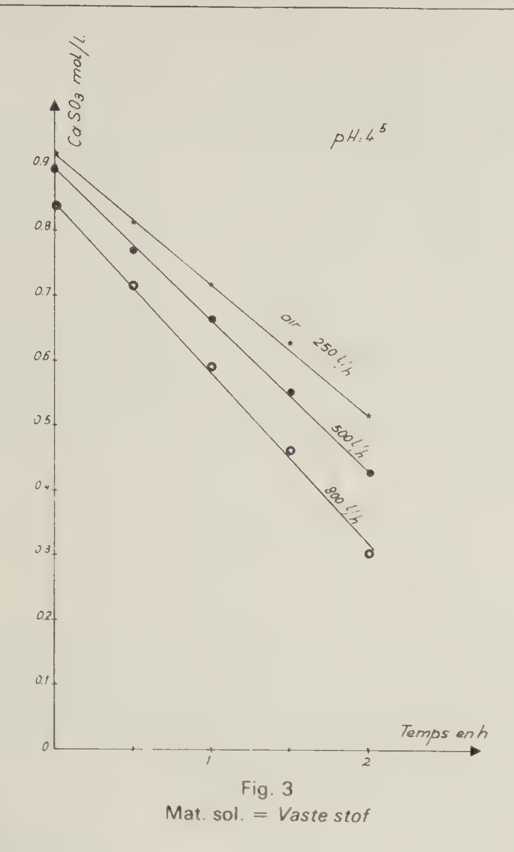


Fig. 3
Mat. sol. = *Vaste stof*

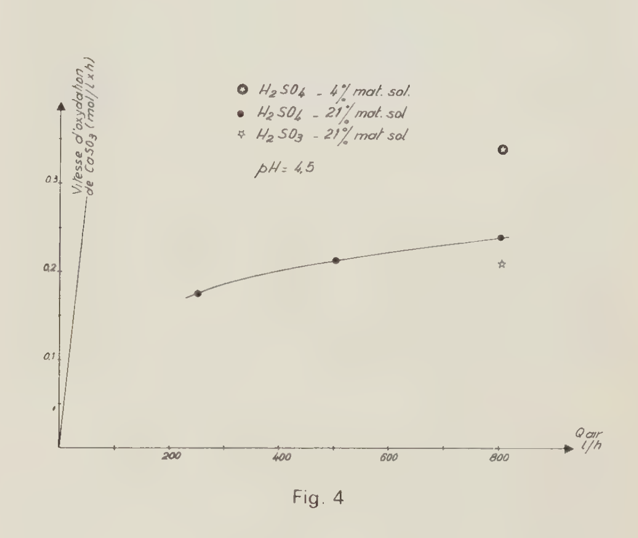


Fig. 4

On voit que la vitesse d'oxydation est une fonction linéaire du pH.

Il est bien entendu que les valeurs absolues ne sont valables que pour notre qualité d'émulsion. Signalons que, lors d'un essai effectué dans une cuve industrielle à l'usine de la Vieille-Montagne, par simple barbotage d'air comprimé à pH 4,5, la vitesse d'oxydation observée était égale à 75 % de la vitesse obtenue dans notre cellule de flottation.

Dans le cas des essais réalisés à pH 4-4,5 et 5, la quantité de sulfite éliminée par dégagement de SO_2 est de l'ordre de 10 % du sulfite oxydé. Elle est proportionnellement plus importante à pH 6, bien qu'elle soit plus faible en valeur absolue.

La figure 3 indique les teneurs en sulfite observées lors des essais réalisés à pH 4,5 avec différents débits d'air. Les vitesses moyennes d'oxydation qui peuvent en être déduites sont reportées sur la figure 4, où figurent également les résultats des autres essais effectués au même pH, c'est-à-dire avec des boues très diluées, d'une part, et avec l'acide sulfureux, d'autre part.

Les débits d'air utilisés lors des essais étaient largement excédentaires, ainsi qu'on peut le voir en les comparant à la droite qui représente le débit d'air stoechiométriquement nécessaire en fonction de la vitesse d'oxydation.

Dans le domaine exploré, les variations de débit d'air n'ont qu'une faible influence sur la vitesse d'oxydation.

We zien dat de oxydatiesnelheid een lineaire functie is van de pH.

Er moet op gewezen worden dat de absolute waarden echter maar van toepassing zijn voor onze emulsiekwaliteit, en dat we tijdens een proef die werd uitgevoerd in een waterbak met industriële afmetingen in de fabriek van Vieille-Montagne, door gewone opborreling van perslucht bij pH 4,5, een oxydatiesnelheid hebben waargenomen die gelijk was aan 75 % van de oxydatiesnelheid die werd genoteerd in onze flotatiecel.

Bij de proeven die werden uitgevoerd bij pH 4-4,5 en 5 bedroeg de hoeveelheid sulfiet dat werd geëlimineerd door het vrijkomen van SO_2, 10 % van het geoxydeerde sulfiet. In verhouding is deze hoeveelheid nog veel groter bij pH 6, hoewel ze minder bedraagt in absolute waarde.

Figuur 3 geeft ons het gehalte aan, aan sulfiet dat werd waargenomen tijdens proeven, die werden uitgevoerd bij 4,5 pH met verschillende luchtdebieten. De gemiddelde oxydatiesnelheden die daaruit kunnen worden afgeleid, worden weergegeven op figuur 4, waar ook de resultaten zijn afgebeeld van andere proeven, die werden uitgevoerd met dezelfde pH, m.a.w. met sterk verdunde residus enerzijds, en met zwaveligzuur anderzijds.

Het luchtdebiet, dat tijdens de proeven werd verbruikt, is veel te hoog, zoals men zelf kan vaststellen als men de vergelijking maakt met de kurve rechts, die het luchtdebiet aangeeft dat stochiometrisch gezien nodig is in functie van de oxydatiesnelheid.

In het onderzochte gebied hebben de wijzigingen die zich voordoen betreffende het luchtdebiet maar een kleine invloed op de oxydatiesnelheid.

Le résultat est fort semblable quand on utilise de l'acide sulfureux au lieu d'acide sulfurique.

La vitesse d'oxydation est plus grande quand les boues sont plus diluées. Il est possible que ce phénomène soit simplement dû à une meilleure qualité d'émulsion favorisée par une plus faible viscosité.

2.2. *Interprétation des résultats*

Les résultats obtenus peuvent s'interpréter facilement quand on considère les réactions qui se produisent lors de l'oxydation et qui peuvent être décrites de façon simplifiée comme suit :

$$Ca\,SO_3 \downarrow \rightleftharpoons Ca\,SO_3 \rightleftharpoons Ca^{++} + SO_3^{-}$$
$$SO_3 \quad + H^+ \rightleftharpoons HSO_3$$
$$HSO_3 + 1/2\,O_2 \rightleftharpoons H^+ + SO_4^{-} \rightleftharpoons HSO_4$$
$$Ca^{++} + SO_4^{--} \rightleftharpoons Ca\,SO_4 \rightleftharpoons Ca\,SO_4 \downarrow$$

Le sulfite de calcium est très peu soluble (4,3 cg par litre à 18°C). Le bisulfite, par contre, l'est beaucoup plus. C'est ce qui explique que l'oxydation ne se produit à une vitesse appréciable qu'en milieu acide.

La solution est saturée dès le départ en sulfite et en sulfate de calcium. Chaque apparition d'un nouvel ion sulfate entraîne la précipitation d'un sulfate de calcium, de même que chaque disparition d'un ion sulfite entraîne la dissolution d'un sulfite de calcium. Il y a rapidement installation d'un régime permanent, de sorte que la concentration des réactifs dissous reste constante au cours d'un essai, et la progression de l'oxydation ne modifie en rien ces concentrations. C'est ce qui explique que la vitesse de réaction est indépendante de la quantité de sulfite présente dans les boues. Les faux équilibres ainsi établis ne se modifieront que lorsqu'il n'y aura plus suffisamment de sulfite.

Lorsqu'on laisse d'ailleurs l'oxydation se poursuivre jusqu'à la fin, on observe une baisse rapide du pH, suivie quelques minutes plus tard d'une nouvelle augmentation.

On a observé que cette baisse du pH coïncide avec le début de ralentissement de l'oxydation. La vitesse, jusque là constante, c'est-à-dire d'ordre zéro par rapport au sulfite contenu dans les boues, passait au régime exponentiel décroissant.

L'effet peu significatif de la température peut s'expliquer par le fait que la concentration des réactifs est limitée principalement par la solubilité du sulfite et celle de l'oxygène qui diminuent toutes deux quand la température augmente.

Les quantités d'acide nécessaires pour acidifier les boues et pour maintenir le pH constant sont évidem-

Het resultaat blijft ongeveer hetzelfde bij het gebruik van zwaveligzuur in plaats van zwavelzuur.

De oxydatiesnelheid is veel hoger naarmate de residus sterker zijn verdund. Het is mogelijk dat dit verschijnsel gewoon te wijten is aan een betere emulsiekwaliteit, die wordt veroorzaakt door een lagere viscositeit.

2.2. *Beoordeling van de resultaten*

Men kan zich gemakkelijk een beoordeling vormen van de verkregen resultaten, als men de reacties bekijkt die zich voordoen tijdens de oxydatie, en die in een vereenvoudigde vorm als volgt kunnen worden geschreven :

$$Ca\,SO_3 \downarrow \rightleftharpoons Ca\,SO_3 \rightleftharpoons Ca^{++} + SO_3^{-}$$
$$SO_3 \quad + H^+ \rightleftharpoons HSO_3^{-}$$
$$HSO_3 + 1/2\,O_2 \rightleftharpoons H^+ + SO_4 \quad \rightleftharpoons HSO_4$$
$$Ca^{++} + SO_4 \quad \rightleftharpoons Ca\,SO_4 \rightleftharpoons Ca\,SO_4 \downarrow$$

Het calciumsulfiet lost niet gemakkelijk op (4,3 cg per liter op 18°C). Het bisulfiet daarentegen is veel gemakkelijker oplosbaar. Dat is de reden waarom de oxydatie zich slechts in een zure omgeving voordoet met een aanvaardbare snelheid.

Van bij het begin is de oplossing reeds verzadigd aan calciumsulfiet en -sulfaat. Iedere voorkomende nieuwe sulfaation veroorzaakt de neerslag van een calciumsulfaat, net zoals iedere verdwijning van een sulfietion de oplossing van een calciumsulfiet veroorzaakt. Er wordt vlug een constant regime opgebouwd, zodat de concentratie van de opgeloste reagentia ook constant blijft tijdens de proef, en het verdere verloop van de oxydatie geen verandering brengt in de concentraties. Dat is ook de reden waarom de reactiesnelheid onafhankelijk is van de hoeveelheid sulfiet, die aanwezig is in de residus. De aldus ontstane, valse evenwichten zullen maar worden veranderd wanneer er niet meer voldoende sulfiet zal zijn.

Als men nu echter de oxydatie verder zijn beloop laat tot aan het einde, stelt men een snelle daling van de pH vast, die enkele minuten later wordt gevolgd door een nieuwe stijging.

We hebben vastgesteld dat deze daling overeenkomt met het begin van de vertraging, die bij de oxydatie optreedt. De snelheid, die tot dan toe constant was gebleven, m.a.w. nul bedroeg ten overstaan van het sulfiet in de residus, ging over tot een exponentiëel dalend regime.

Het feit dat de inwerking van de temperatuur van zo weinig betekenis is, wordt verklaard doordat de concentratie van de reagentia in de eerste plaats wordt beperkt door de oplosbaarheid van het sulfiet en van de zuurstof die vermindert, wanneer de temperatuur stijgt.

De hoeveelheid zuur, die nodig is voor het aanzuren van de residus en om de pH constant te houden, zijn

ment d'autant plus importantes que les boues sont acides. Elles dépendent également dans une large mesure des précautions prises pour éviter la création de zones momentanément trop acides favorisant le dégagement de SO_2.

L'extrapolation des résultats obtenus, compte tenu du temps nécessaire pour atteindre une oxydation complète des boues, permet de calculer que la consommation totale d'acide serait minimale dans la zone de pH comprise entre 4,5 et 5. Dans cette zone, la consommation molaire serait de l'ordre de 12 % de la quantité de sulfite oxydée. Compte tenu de la quantité de sulfate déjà présente dans les boues au départ, il faudrait donc environ 40 g d'acide sulfurique concentré pour chaque kg de gypse obtenu.

L'essai effectué avec l'acide sulfureux a montré que la consommation d'acide, exprimée en moles, est approximativement la même que lorsqu'on utilise l'acide sulfurique. Ce résultat montre bien qu'il est possible d'acidifier les boues au moyen du SO_2 contenu dans les fumées sans difficultés particulières. Une firme japonaise propose d'ailleurs ce système qui ne nécessite donc pas de consommation d'acide sulfurique.

2.3. *Conclusions*

Les essais d'oxydation décrits ici ne constituent bien entendu qu'une première approche du problème. Ils ont le mérite, en tout cas, de démontrer que les boues sulfitiques peuvent être oxydées beaucoup plus facilement qu'on ne le croit généralement.

L'extrapolation des résultats obtenus, par exemple à pH 4,5 et à faible concentration, permet de calculer que, dans les mêmes conditions, la cuve nécessaire pour oxyder les boues produites à partir de fumées contenant 5 g de SO_2 par Nm^3 devrait avoir un volume 15 fois plus petit que le scrubber lui-même. Dans le cas d'une centrale électrique de 100 MW, le volume de cette cuve serait de l'ordre de 40 m^3.

L'étude complète de l'optimalisation du coût de l'opération est du ressort des constructeurs. On peut signaler d'ailleurs qu'un constructeur belge, la Vieille-Montagne, s'intéresse actuellement à ce problème.

L'oxydation des boues ne constitue qu'une étape préliminaire de la recherche entreprise par l'Union des Producteurs de Chaux. La détermination des caractéristiques du produit obtenu, ainsi que ses possibilités de valorisation, constitueront la partie essentielle de cette étude qui, si elle aboutit, devrait permettre à la désulfuration des gaz à la chaux de s'imposer vis-à-vis des méthodes de désulfuration concurrentes.

natuurlijk groter naargelang de residus meer zuur bevatten. De hoeveelheid zuur hangt ook in grote mate af van de voorzorgen die worden genomen, om de vorming van tijdelijk te zure zones te vermijden, die het vrijkomen van SO_2 zouden versnellen.

Rekening houdend met de tijd die nodig is om een volledige oxydatie van de residus te verkrijgen, laat een verdere verwerking van de bereikte gegevens berekenen dat het totale verbruik van zuur het laagst zou liggen in een pH-gebied van 4,5 tot 5. In dit gebied bedraagt het molaire verbruik 12 % van de hoeveelheid geoxydeerd sulfiet. Rekening houdend met de reeds in het begin in de residus aanwezige hoeveelheid sulfaat, zou men dus ongeveer 40 g geconcentreerd zwavelzuur nodig hebben per kg verkregen gips.

De proef die werd uitgevoerd met zwaveligzuur, heeft aangetoond dat het verbruik van zuur, uitgedrukt in mol, ongeveer hetzelfde is, als wanneer men zwavelzuur gebruikt. Dit resultaat geeft duidelijk aan dat het mogelijk is de residus zonder speciale moeilijkheden te verzuren door middel van SO_2 dat zich in de rook bevindt. Een Japanse firma stelt trouwens dit systeem voor, dat dus het gebruik van zwavelzuur niet meer nodig maakt.

2.3. *Besluit*

De oxydatieproeven die hier werden beschreven, vormen uiteraard slechts de eerste benadering van dit probleem. Hun verdienste is echter wel dat ze aantonen, dat sulfietresidus veel gemakkelijker kunnen worden geoxydeerd dan algemeen werd aanvaard.

Een verdere verwerking van de opgeleverde resultaten, bijvoorbeeld bij pH 4,5 en met een lage concentratie maakt het mogelijk de berekening te maken dat onder dezelfde omstandigheden de waterbak, die nodig is voor de oxydatie van de residus, die worden geleverd door rook met 5 g SO_2 per Nm^3, een inhoud zou moeten hebben die 15 keer kleiner is dan die van de gaswasser zelf. Bij een elektrische centrale van 100 MW zou de inhoud van deze waterbak 40 m^3 moeten bedragen.

De volledige studie over een optimale aanwending van de kosten van een dergelijk procédé gaat uit van de constructeurs. We kunnen daarbij trouwens vermelden dat een Belgische constructeur, Vieille-Montagne, voor het ogenblik aan dit probleem veel aandacht schenkt.

De oxydatie van residus is slechts de voorafgaandelijke stap van het onderzoek dat wordt begonnen door de Unie van Kalkproducenten. Een juiste omschrijving van de eigenschappen van het verkregen produkt en de valorisatiemogelijkheden vormen het essentiële gedeelte van deze studie, die, indien zij tot een goed einde wordt gebracht, bij de ontzwaveling van gassen door middel van kalk de voorkeur zal genieten boven de andere mededingende ontzwavelingsmethoden.

Application de la précontrainte à la pierre

Toepassing van voorspanning op steen

Yves DURAND *

RESUME

Cette communication fait le point sur l'état actuel des essais entrepris au laboratoire de Génie Civil de la Faculté Polytechnique de Mons à propos des possibilités d'application des techniques de précontrainte par câbles d'acier à des éléments porteurs de grandes dimensions, constitués d'un ensemble de blocs de pierre simplement juxtaposés.

Le problème des joints y est analysé et résolu.

Les conditions nécessaires à une industrialisation du procédé y sont posées.

SAMENVATTING

Dit artikel belicht de huidige stand van zaken van de proeven die in het Laboratoire de Génie Civil van de Faculté Polytechnique te Mons worden uitgevoerd in verband met de toepassingsmogelijkheden van voorspanning met stalen kabels op grote draagelementen bestaande uit een samenstel van gewoon naast elkaar geplaatste steenblokken.

Het probleem i.v.m. de voegen wordt ontleed en opgelost.

Tevens worden de vereiste voorwaarden voor een industrialisering van het procédé bepaald.

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Bericht bezieht sich auf den heutigen Stand der im Labor für Bauingenieurwesen der Technischen Hochschule von Mons durchgeführten Versuche bezüglich der Anwendungsmöglichkeiten der Vorspannungsverfahren mit Stahllitzen bei groß ausgelegten Trägerelementen, bestehend aus einfach nebeneinander angereihten Steinblöcken.

Das durch die Fugen aufgeworfene Problem wird untersucht bzw. gelöst.

An dieser Stelle werden ebenfalls die für die Industrialisierung des Verfahrens erforderlichen Bedingungen gestellt.

SUMMARY

This article reviews the present state of the trials carried out in the Civil Engineering laboratory of the Polytechnic Faculty at Mons, in respect of the potential applications of steel cable pre-stressing techniques to large load-bearing elements consisting of a series of stone blocks simply set side by side.

The joint problem is examined and a solution given.

The prerequisite conditions for industrializing the process are described.

---

* Ingénieur Civil Architecte, Assistant à la Faculté Polytechnique de Mons, Rue de Houdain - 7000 Mons.

Le laboratoire de Génie Civil et Connaissance des Matériaux de la Faculté Polytechnique de Mons procède actuellement à des essais concernant la précontrainte du Petit Granit belge.

D'une façon générale, la question, à laquelle ce programme d'essais tente d'apporter une réponse, se pose ainsi :

Est-il possible de réaliser des éléments porteurs de grandes dimensions par juxtaposition *de pierres de petites dimensions et* précontrainte *de l'ensemble de ces pierres au moyen de câbles d'acier, compte tenu*

- *des caractéristiques mécaniques et des possibilités d'usinage de la pierre, d'une part,*
- *des difficultés technologiques posées par l'application de la technique de la précontrainte — classiquement développée pour le béton — à un matériau tel que la pierre, d'autre part ?*

Plus particulièrement, le problème majeur dont la solution constitue *le* préalable de toute analyse sur le sujet est la réalisation du joint entre les éléments juxtaposés.

En effet, les éléments de grandes dimensions précontraints ne sont rien d'autre qu'une forme particulière de maçonnerie appareillée et les constructeurs savent bien que c'est de la qualité appropriée du joint que dépend la résistance globale de cette maçonnerie, l'appropriation consistant à conférer au joint des propriétés mécaniques au moins égales à celle des blocs appareillés.

Or, le Petit Granit belge est un matériau raide dont les essais classiques de compression à la presse montrent qu'il se rompt lorsque sa contrainte moyenne atteint des valeurs de l'ordre de 1500 kg/cm^2 (effort exercé perpendiculairement au lit).

Réaliser des joints, même minces, de telles performances mécaniques, reste pratiquement impossible.

Par ailleurs, l'expérience montre que la mise en œuvre correcte de joints minces est toujours une opération délicate.

D'un autre côté, les joints de mortier que l'on pourrait réaliser présenteraient les défauts bien connus de tous les bétons, c'est-à-dire qu'ils prendraient du retrait et qu'ils présenteraient un fluage nettement marqué sous charge de longue durée, alors que, à l'opposé, nous avons vérifié que le Petit Granit ne présente ni hystérèse élastique sensible ni fluage.

Pour toutes ces raisons, juxtaposer les pierres à joints secs, sans interposition d'aucun matériau, apparaît comme la seule solution possible.

Les contacts secs ainsi réalisés entre les pierres transmettent-ils suffisamment bien les efforts d'une pierre à l'autre ?

Het Laboratoire de Génie Civil et Connaissance des Matériaux van de Faculté Polytechnique te Mons voert momenteel proeven uit in verband met de voorspanning van Belgische hardsteen.

Algemeen genomen tracht dit onderzoeksprogramma een antwoord te vinden op de volgende vraag :

Is het mogelijk grote draagelementen te maken door stenen met kleine afmetingen naast elkaar te plaatsen *en het geheel voor te spannen, daarbij rekening houdend met :*

- *enerzijds, de mechanische eigenschappen en de bewerkingsmogelijkheden van steen,*
- *anderzijds, de technologische moeilijkheden die zich voordoen bij de toepassing van de voorspanningstechniek — traditioneel ontwikkeld voor beton — op een materiaal zoals steen ?*

Meer bepaald wordt het hoofdprobleem behandeld, dat *moet* worden opgelost alvorens een analyse aan dit onderwerp kan worden gewijd, namelijk de voegen tussen de naast elkaar geplaatste stenen.

Voorgespannen elementen met grote afmetingen zijn immers niets anders dan een bijzondere vorm van in verband gezet metselwerk en het is bekend in de bouwnijverheid dat de globale weerstand van dit metselwerk afhangt van de geschiktheid van de voeg, die wordt verkregen door deze laatste mechanische eigenschappen te verlenen die op zijn minst gelijk zijn aan die van de in verband gezette blokken.

Nu is Belgische hardsteen een onbuigzaam materiaal waarvan de klassieke samendrukkingsproeven met de pers aantonen dat het breekt wanneer de gemiddelde spanning (loodrecht op de laag) rond de 1500 kg/cm^2 ligt.

Het lijkt welhaast onmogelijk voegen, hoe dun ook, met dergelijke mechanische eigenschappen te vervaardigen.

De proefneming toont overigens aan dat het juist aanbrengen van dunne voegen altijd een delikaat werk is.

Anderzijds zouden de mortelvoegen die men zou kunnen maken, de welbekende gebreken van alle betonsoorten vertonen, namelijk krimp en, na langdurige belasting, kruip. Daarentegen heeft ons onderzoek aangetoond dat hardsteen geen merkbare elastische hysteresis, noch kruip vertoont.

Om al die redenen lijkt de enig mogelijke oplossing erin te bestaan de stenen gewoon naast elkaar te plaatsen, met voegen zonder voegvulling van welk materiaal ook.

Brengt het aldus tot stand gebrachte contact de krachten in voldoende mate over van de ene op de andere steen ?

Oui, MAIS, sous certaines conditions, comme les essais ont permis de le mettre en évidence.

1. CONDITIONS DE TRANSMISSION DES EFFORTS NORMALEMENT AUX JOINTS

Essais réalisés

— Soit un lot de prismes de Petit Granit préparés pour les essais de compression.

— Par un premier échantillonnage, on estime la résistance moyenne à la compression du lot.

— Dans un deuxième échantillon, les pierres sont coupées en deux par un trait de scie, soit à section droite, soit à section inclinée (jusqu'à 30° par rapport à l'axe longitudinal des prismes), puis reconstituées par superposition des deux morceaux et essayées à la compression jusqu'à rupture.

— Un troisième échantillon est traité comme le deuxième, à la différence que les faces de sciage sont dressées finement à la rectifieuse.

Conclusion des essais

L'expérience montre que

— si les faces en contact sont issues du même trait de scie, elles donnent lieu à une résistance de l'assemblage reconstitué égale à celle de la pierre non sciée ;

— si les faces en contact sont issues de deux traits de scie différents, la résistance de l'assemblage est spectaculairement diminuée : la rupture peut, en effet, se produire dans ce cas pour une contrainte moyenne de compression pouvant descendre jusqu'à 20 ou 30 kg/cm^2 seulement, au lieu de 1500 kg/cm^2 de la pierre entière ;

— si les faces en contact sont issues de deux traits de scie différents mais ont été rectifiées au laboratoire, la résistance de l'assemblage reconstitué est encore égale à celle de la pierre non sciée.

Interprétation des essais

a) Le joint sec n'affaiblit pas la résistance d'un assemblage de pierres si les faces en contact sont *concordantes.*

b) Deux faces issues d'un même sciage sont toujours concordantes, à la façon d'un emboîtement mécanique pièce mâle-pièce femelle.

c) Deux faces issues de sciages différents mais dressées finement, ensuite, sont raisonnablement planes et, par là même, concordantes.

Ja, MAAR onder bepaalde voorwaarden, zoals door de proeven werd aangetoond :

1. VOORWAARDEN VOOR DE OVERBRENGING VAN KRACHTEN LOODRECHT OP DE VOEGEN

Uitgevoerde proeven

— Men neemt een partij hardstenen prisma's die klaargemaakt zijn voor de samendrukkingsproeven.

— Door een eerste bemonstering wordt de gemiddelde druksterkte van de partij bepaald.

— De stenen van een tweede monster worden doorgezaagd, hetzij in een rechte, hetzij in een schuine doorsnede (tot op 30° t.o.v. de lengteas van de prisma's) en vervolgens weer samengesteld door beide helften op elkaar te plaatsen. Dan worden ze onderworpen aan een samendrukkingsproef totdat ze breken.

— Een derde monster wordt net zoals het tweede behandeld, met dit verschil dat de zaagvlakken fijn worden afgeslepen met behulp van een slijpmachine.

Besluit van de proeven

De proefneming toont aan dat

— indien de raakvlakken afkomstig zijn van eenzelfde zaagsnede, het weer samengestelde geheel dezelfde weerstand vertoont als de niet doorgezaagde steen ;

— indien de raakvlakken afkomstig zijn van twee verschillende zaagsneden, de weerstand van het geheel aanzienlijk lager ligt : de breuk kan in dit geval reeds voorkomen bij een gemiddelde drukkracht van slechts 20 of 30 kg/cm^2, in plaats van 1500 kg/cm^2 bij de niet doorgezaagde steen ;

— indien de raakvlakken afkomstig zijn van twee verschillende zaagsneden maar werden vlakgeslepen in het laboratorium, is de weerstand van het weer samengestelde geheel dezelfde als die van de niet doorgezaagde steen.

Interpretatie van de proeven

a) Een voeg zonder voegvulling zwakt de weerstand van een samenstel van stenen niet af wanneer de raakvlakken *overeenstemmen.*

b) Twee vlakken afkomstig van eenzelfde zaagsnede stemmen altijd overeen, zoals de in elkaar passende onderdelen van een hol- en dolverbinding.

c) Twee vlakken afkomstig van verschillende zaagsneden maar achteraf fijn afgeslepen zijn redelijk effen en stemmen daarom overeen.

Pour se convaincre du bien-fondé de ces interprétations, il restait à définir la géométrie des faces simplement sciées ou rectifiées au point de vue des écarts possibles par rapport à la forme géométrique idéale que serait évidemment un plan.

Par ailleurs, comme différents types de rectification peuvent être mis en œuvre, il était intéressant de vérifier s'ils donnent lieu à des écarts de planéité du même ordre de grandeur ou non. Dans ce but, des pierres rectifiées ont été demandées à 4 carrières et comparées à des pierres rectifiées au laboratoire F.P.Ms.

Om de gegrondheid van deze interpretaties te toetsen diende men nog slechts de geometrie van de gezaagde of vlakgeslepen vlakken te bepalen, om de mogelijke afwijkingen van de ideale geometrische vorm, met name een plat vlak, na te gaan.

Bovendien was het interessant om na te gaan of de afwijkingen voortgebracht door de verschillende manieren van slijpen die kunnen worden toegepast, al dan niet tot dezelfde orde van grootte behoorden. Met dit doel werden aan 4 steengroeven vlakgeslepen stenen gevraagd, die dan werden vergeleken met in het laboratorium te Mons afgeslepen stenen.

Mesures de planéité

Ces mesures ont été réalisées classiquement au comparateur mécanique à cadran (au micron près) sur un marbre de contrôle mécanique de précision (en granite noir rodé d'erreur inférieure à 5 microns sur toute sa surface de 2 × 3 pieds).

Ces mesures, prises aux nœuds d'un réseau fictif à mailles carrées de 1 cm de côté, « dessiné » sur la face de pierre mesurée, donnent lieu directement à une carte topographique des altitudes des points mesurés, *par rapport au plan du marbre de contrôle.*

L'interprétation de ces mesures brutes consiste à « ramener » toutes ces mesures à un plan de référence fictif passant par 3 points situés *sur* la face de pierre étudiée. Ces 3 points ont été choisis aux 3 coins du réseau plan de mesures.

Par face de 20 × 30 cm, 551 mesures brutes étaient consignées ; leur interprétation nécessitait raisonnablement l'usage de l'ordinateur. En ce qui nous concerne, l'usage du système APL/360 s'est révélé très pratique.

Le dépouillement des mesures a montré que, selon la machine de rectification utilisée, les écarts maxima au plan de référence allaient de 26 centièmes de mm pour la plus mauvaise rectification à 2 centièmes pour la meilleure (cette dernière rectification est celle qui avait été utilisée lors des essais de prismes).

Les figures 1 et 2 représentent, en axonométrie orthogonale, avec forte anamorphose de l'échelle de l'axe vertical, deux exemples de mauvaise et bonne rectification.

Quant aux faces sciées, il est patent que leur forme géométrique se rapproche d'une surface réglée non plane dont les génératrices sont, dans le cas d'un sciage à la scie circulaire, très nettement des droites tangentes au cercle de l'outil.

Vlakheidsmetingen

Deze metingen werden op de klassieke manier verricht met behulp van een meetklok (tot op een micron) op een controlemarmer waarvan de precisie mechanisch gemeten was (in zwart graniet met afwijkingen van minder dan 5 micron over de gehele oppervlakte van 2 × 3 voet).

Deze metingen, die werden genomen op de knooppunten van een fictief netwerk met vierkante mazen met zijden van 1 cm dat op het vlak van de te meten steen werd « getekend », leverden rechtstreeks een topografische kaart van de hoogte van de gemeten punten, *ten opzichte van het marmeren controlevlak.*

Voor de *interpretatie* van deze ruwe metingen werden ze alle « herleid » tot een fictief meetvlak dat door 3 *op* het bestudeerde steenvlak gelegen punten gaat. Deze 3 punten werden gekozen op de 3 hoeken van het meetnetwerk.

Per vlak van 20 × 30 cm werden 551 ruwe metingen opgetekend ; om die te interpreteren diende men redelijkerwijze een beroep te doen op een computer. Wat ons betreft, heeft het systeem APL/360 goede diensten bewezen.

De verwerking van de metingen toonde aan dat, naargelang van de gebruikte slijpmachine, de maximum-afwijkingen t.o.v. het meetvlak liepen van 26 honderdsten van een mm voor de slechtste afslijping tot 2 honderdsten voor de beste (deze laatste is de afslijping die werd verricht bij de proeven op de prisma's).

Op figuren 1 en 2 zijn, in orthogonale axonometrie, met sterke anamorfose van de schaal van de verticale as, voorbeelden van een slechte en een goede afslijping afgebeeld.

Wat de gezaagde vlakken betreft, is het duidelijk dat hun geometrische vorm die van een niet vlakgeslepen oppervlak benadert, waarvan de beschrijvende lijnen, bij gebruik van een cirkelzaag, zeer duidelijk raaklijnen aan de cirkel van deze zaag zijn.

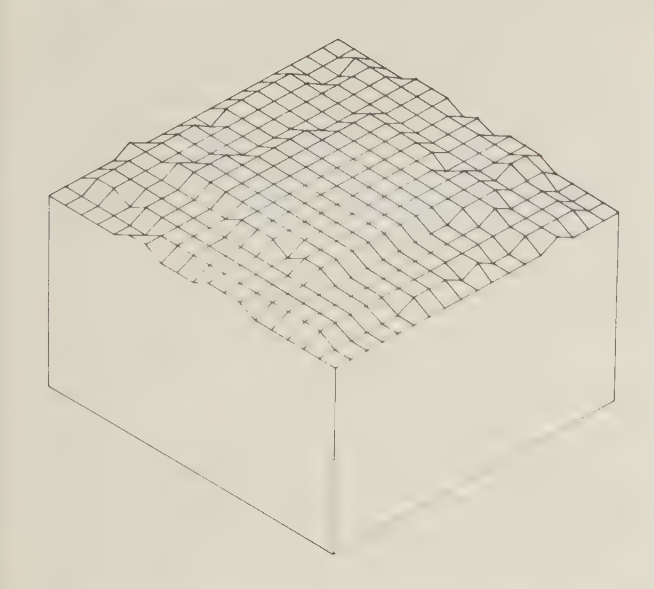


Fig. 1 — Rectification d'une face 20 × 20 cm. Erreur maximum par rapport au plan de référence : + 2 centième de mm.
Afslijping van een vlak van 20 × 20 cm. Maximum-afwijking t.o.v. het meetvlak : + 2 honderdsten van een mm.

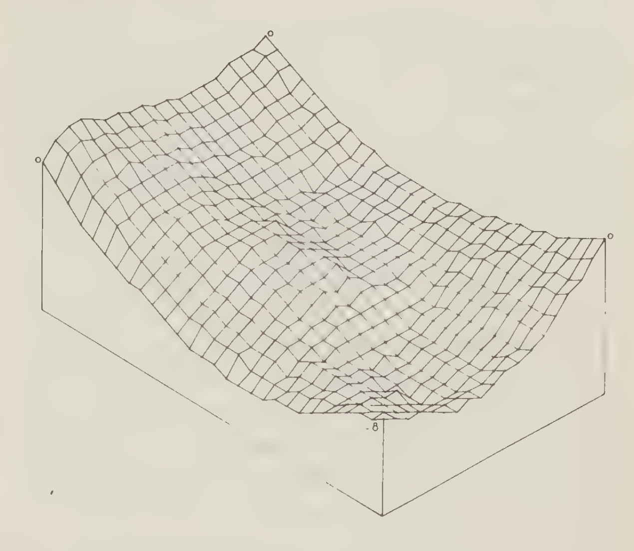


Fig. 2 — Rectification d'une face 20 × 30 cm. Erreur maximum par rapport au plan de référence : — 18 centièmes de mm.
Afslijping van een vlak van 20 × 30 cm. Maximum-afwijking t.o.v. het meetvlak : — 18 honderdsten van een mm.

L'incidence des défauts de rectification a été appréciée en recommençant des essais de compression, non plus sur des prismes, mais sur des piles de 4 pierres (de 20 × 30 de section et de 80 cm de hauteur), conditions d'essai proches des conditions d'utilisation dans une poutre précontrainte. Ces essais ont permis la conclusion très importante qu'*un défaut de planéité de plus de 5/100e mm sur une surface de 20 × 30 cm compromettait gravement la résistance de l'empilage et était, par conséquent, inadmissible.*

De weerslag van de afslijpingsfouten werd beoordeeld aan de hand van nieuwe samendrukkingsproeven, ditmaal niet meer op prisma's maar op stapels van 4 stenen (met een doorsnede van 20 × 30 en een hoogte van 80 cm). Deze proefomstandigheden benaderen de gebruiksomstandigheden bij een voorgespannen balk. Uit deze proeven kon men de zeer belangrijke conclusie trekken dat een *vlakheidsafwijking van meer dan 5/100ste mm op een oppervlak van 20 × 30 cm de weerstand van de stapel ernstig in gevaar bracht en bijgevolg ontoelaatbaar was.*

2. CONDITIONS DE TRANSMISSION DES EFFORTS PARALLELEMENT AUX JOINTS

Le problème de la reprise des efforts tranchants dans une poutre précontrainte se trouve résolu si les faces de pierre en contact peuvent transmettre des efforts verticaux.

La première solution étudiée a été le joint en claveau reprenant les efforts verticaux par épaulements.

Les essais réalisés en flexion sur trois poutres construites selon ce système et précontraintes de 100 à 150 kg/cm^2 ont donné toute satisfaction.

Cependant, la réalisation pratique de pierres à joints obliques reste une opération techniquement difficile.

2. VOORWAARDEN VOOR DE OVERBRENGING VAN KRACHTEN EVENWIJDIG MET DE VOEGEN

Het probleem i.v.m. het opvangen van de schuifkrachten in een voorgespannen balk is opgelost wanneer de raakvlakken van de stenen verticale krachten kunnen overbrengen.

De eerste oplossing die bestudeerd werd was de sluitsteenvoeg die de verticale krachten opvangt door ondersteuning.

De proeven i.v.m. de buigsterkte van 3 balken die volgens dit systeem waren opgebouwd en voorgespannen op 100 tot 150 kg/cm^2 hebben zeer bevredigende resultaten opgeleverd.

De praktische uitvoering van stenen met schuine voegen blijft evenwel een technisch moeilijk werk.

C'est pourquoi, entre autres raisons, ce système a été abandonné au profit de poutres à joints droits, en prenant toutefois la précaution de vérifier, par des essais préalables de cisaillement technique, que les conditions de frottement au droit des joints étaient suffisantes pour assurer une transmission des efforts verticaux avec une bonne sécurité.

Valeur du coefficient de frottement

Le coefficient de frottement pierre sur pierre a été trouvé supérieur à 0,6, tandis que celui de l'acier sur la pierre a été trouvé supérieur à 0,3 ; ceci permet d'assurer la sécurité à l'effort tranchant (au point de vue du glissement) pour la plupart des éléments précontraints envisageables.

Par ailleurs, à titre d'information, il a été vérifié que ce coefficient de frottement croissait apparemment avec l'effort normal et que, d'autre part, l'état plus ou moins mouillé de la pierre ne modifiait en rien ce coefficient.

Au cours de tous les essais entrepris jusqu'à présent sur des poutres ou des portiques réalisés avec ce type de joint droit, *aucun glissement des blocs les uns sur les autres ne s'est jamais manifesté.*

Possibilités d'application de la précontrainte à des ensembles d'éléments juxtaposés

a) L'application de la précontrainte à des éléments formés de pierres juxtaposées ne peut évidemment se faire qu'à leurs extrémités, la réaction étant reprise par des câbles d'acier tendus.

En effet, il est évidemment hors de question d'imaginer de pouvoir transmettre les efforts de précontrainte tout le long des câbles par leur adhérence au matériau à précontraindre, comme on le fait lorsqu'il s'agit de bétons coulés autour de câbles déjà tendus.

Mais le report des efforts aux extrémités signifie brutale concentration de contrainte à l'endroit de ce report, si tout au moins des précautions particulières ne sont pas prises.

En effet, la pierre, nous l'avons vérifié par des essais systématiques, est très sensible au poinçonnement et, par conséquent, il s'indique absolument de reprendre les efforts d'about par des plaques d'acier suffisamment épaisses pour que

Ondermeer daarom werd de voorkeur gegeven aan balken met rechte voegen, waarop evenwel, als voorzorgsmaatregel, vooraf afschuivingsproeven werden verricht, om na te gaan of de wrijvingsvoorwaarden ter hoogte van de voegen voldoende waren om een betrouwbare overbrenging van de verticale krachten te verzekeren.

Waarde van de wrijvingscoëfficiënt

De wrijvingscoëfficiënt van steen op steen werd hoger dan 0,6 bevonden, terwijl die van staal op steen hoger dan 0,3 werd bevonden ; dit verschaft voldoende zekerheid omtrent het opvangen van de schuifkracht (wat het afglijden betreft) door de meeste in aanmerking komende voorgespannen elementen.

Overigens werd vastgesteld dat de wrijvingscoëfficiënt blijkbaar toeneemt met de loodrechte kracht en dat, anderzijds, de min of meer vochtige toestand van de steen deze coëfficiënt geenszins beïnvloedt.

Bij geen enkele proef die tot dusver op balken of portieken met dit soort rechte voegen werd verricht, *heeft zich ooit een verschuiving tussen de blokken voorgedaan.*

Toepassingsmogelijkheden van de voorspanning op gehelen van naast elkaar geplaatste elementen

a) Bij elementen gevormd door naast elkaar geplaatste stenen kan de voorspanning uiteraard slechts op hun uiteinden worden toegepast, waarbij de reactie wordt opgevangen door gespannen stalen kabels.

Het is immers volstrekt ondenkbaar de voorspanningskrachten te kunnen overbrengen over de ganse lengte van de kabels door ze aan het voor te spannen materiaal te hechten, zoals wordt gedaan bij beton dat rond reeds gespannen kabels wordt gegoten.

Maar het overbrengen van de krachten op de uiteinden betekent een spanningsconcentratie op de plaats van deze overbrenging, althans indien geen bijzondere voorzorgsmaatregelen worden genomen.

Wij hebben immers, aan de hand van systematische proeven, vastgesteld dat steen zeer gevoelig is voor doorslag. Het is dan ook noodzakelijk de krachten aan de uiteinden op te vangen door middel van stalen platen die dik genoeg zijn

les contraintes dues à ces efforts puissent se répartir progressivement dans l'acier avant d'affecter la pierre.

b) Les câbles d'acier tendus sont à loger dans un ou des trous forés dans la pierre.

A l'évidence, ces trous doivent concorder d'une pierre à l'autre. Cette condition implique que, non seulement la géométrie *extérieure* des éléments soit exactement la même d'un bloc à l'autre, mais encore que les trous soient forés toujours au même endroit par rapport à la géométrie extérieure.

De plus, les poutres fabriquées à partir de ces blocs usinés doivent être droites, aussi faut-il que les faces de contact soient non seulement parallèles entre elles, mais encore perpendiculaires aux autres faces, les trous forés étant, bien entendu, perpendiculaires aux faces de contact. Autrement dit, les pierres dégrossies à la carrière doivent être ramenées à la forme parfaite d'un parallélépipède rectangle par usinages ultérieurs.

opdat de uit deze krachten voortkomende spanningen zich geleidelijk over het staal zouden kunnen verdelen alvorens op de steen in te werken.

b) De gespannen stalen kabels dienen aangebracht in een of meerdere in de steen geboorde gaten.

Het spreekt vanzelf dat deze gaten van de ene in de andere steen moeten doorlopen. Daarom moet niet enkel de *uitwendige* geometrische vorm van alle blokken dezelfde zijn, maar moeten de gaten ook telkens op dezelfde plaats ten opzichte van de uitwendige vorm worden geboord.

Bovendien moeten de balken die met deze bewerkte blokken worden opgebouwd, recht zijn. Daarom dienen de raakvlakken niet enkel onderling evenwijdig te zijn, maar ook loodrecht op de andere vlakken te staan. De geboorde gaten moeten uiteraard loodrecht op de raakvlakken staan. M.a.w., de in de groeve ruw behouwen stenen dienen naderhand nog bewerkingen te ondergaan totdat ze de volmaakte vorm van een rechthoekig parallellepipedum hebben bereikt.

Possibilités d'usinage de la pierre

A) Ce qui vient d'être écrit met à nouveau l'accent, comme pour les rectifications, sur la nécessité d'usiner les blocs avec la plus grande précision. L'expérience que nous avons acquise par la réalisation de prototypes de laboratoire nous a montré que, non seulement c'était nécessaire, mais encore *possible*.

C'est ainsi, par exemple, que l'imprécision sur les diagonales, au montage d'un portique droit de 1700 × 1300 mm réalisé au laboratoire, a pu être réduite à ± 0,5 mm.

Cette précision, bien que possible, n'est pas, *dans l'état actuel des choses,* facile à obtenir.

En effet, à notre connaissance, aucune machine d'usinage de la pierre n'est équipée de toutes les commodités qu'offrent les machines-outils (tours, fraiseuses, ...) pour le travail de l'acier, c'est-à-dire des tables coulissantes ou tournantes *indexées*.

b) Franchir ce pas permettrait une industrialisation du procédé de précontrainte de la pierre.

Par contre, essayer de l'appliquer sans posséder les machines adéquates serait courir à un échec sur le double plan de la sécurité des éléments fabriqués et de la rentabilité de l'opération.

Bewerkingsmogelijkheden van steen

a) Wat hoger werd vermeld benadrukt nogmaals, zoals voor het afslijpen, de noodzaak om de blokken met de grootste nauwkeurigheid te bewerken. De ondervinding die wij hebben opgedaan door het vervaardigen van labo-prototypes heeft ons geleerd dat het niet alleen noodzakelijk, maar ook *mogelijk* is.

Zo kon, bij de montage van een in het laboratorium vervaardigde rechte portiek van 1700 × 1300 mm, de onnauwkeurigheid op de diagonalen tot ± 0,5 mm worden beperkt.

Deze nauwkeurigheid is weliswaar mogelijk maar, *met de huidige stand van zaken,* niet gemakkelijk te verwezenlijken.

Immers, voor zover wij weten, is geen enkele steenbewerkingsmachine uitgerust met alle snufjes waarvan de gereedschapsmachines (draaibanken, freesmachines e.d.) voor de staalbewerking zijn voorzien, namelijk *gemerkte* schuif- of draaitafels.

b) Als men die stap zou zetten zou het voorspanningsprocédé voor steen kunnen geïndustrialiseerd worden.

Indien men daarentegen de voorspanning zou pogen toe te passen zonder over de geschikte machines te beschikken, is men gedoemd tot een

Toutes les idées générales exposées dans cet article sur la précontrainte du Petit Granit belge ont été vérifiées par la réalisation et l'essai de prototypes de laboratoire.

Cependant, il reste encore bien du travail pour vider le problème à fond, notamment en ce qui concerne les modes d'application du procédé à des éléments d'architecture ou de mécanique.

C'est à cela que s'attache actuellement notre laboratoire.

En terminant, je voudrais remercier Monsieur le Professeur R. Jacquemin d'avoir patronné ce travail et de m'avoir fait bénéficier, à cette occasion, de sa remarquable expérience de la construction et des essais de génie civil.

Par ailleurs, c'est le service général de la F.P.Ms, dirigé par Monsieur le Professeur R. Berdal, et, en particulier, l'atelier de mécanique, dont Mr le Chef de Service J. Perlaux assure les destinées, qui a réalisé, avec le soin attentif qui le caractérise, toutes les pièces mécaniques spéciales nécessaires aux essais entrepris.

mislukking op twee vlakken : de veiligheid van de gefabriceerde elementen en de rendabiliteit van de onderneming.

Alle algemene ideeën die in dit artikel zijn uiteengezet over de voorspanning van Belgisch hardsteen, werden getoetst door het vervaardigen en het testen van labo-prototypen.

Er staat ons echter nog heel wat werk te wachten om het probleem grondig op te lossen, met name wat de toepassingswijzen van het procédé op bouwkundige of mechanica-elementen.

Daarop legt ons laboratorium zich momenteel toe.

Tot slot zou ik Professor R. Jacquemin willen danken dat hij dit werk heeft gesteund en dat ik bij deze gelegenheid heb mogen putten uit zijn rijke ervaring en kennis inzake bouwkunde en bouwkundige proefnemingen.

Ik dank tevens de algemene dienst van de Faculté Polytechnique te Mons, geleid door Professor R. Berdal en in het bijzonder het mechanica-atelier onder leiding van het Diensthoofd, de heer J. Perlaux, die, met de nauwlettende zorg die hem kenmerkt, alle speciale mechanische stukken heeft vervaardigd die wij voor de proeven nodig hadden.

Panneaux architectoniques en pierres naturelles

Bouwpanelen in natuurstenen

Etienne MARECHAL *

RESUME

En octobre 1973, un groupe composé de l'INIEX, de l'OPI, du CRAU et de quelques carriers de la région de Liège se fixait comme objectif la mise au point d'un procédé de préfabrication de panneaux architectoniques en pierres naturelles.

La technique actuelle consiste à assembler un ensemble de pierres débitées par collage et à les rigidifier à l'aide de broches métalliques. Suivant les besoins, les pierres sont supportées par une structure en acier.

Le procédé se plie aux différentes exigences des architectes, que ce soit une exigence « plastique » et de texture ou que ce soit une volonté d'intégrer des fonctions aux panneaux.

SAMENVATTING

In oktober 1973 vatte een groep samengesteld uit het NIEB, de DNB, de CRAU en enkele groeveuitbaters uit het Luikse het plan op om een prefabprocédé voor bouwpanelen in natuurstenen uit te werken.

De huidige techniek bestaat erin een stel verzaagde stenen met lijm te assembleren en ze te verstevigen met behulp van metalen pennen. Indien nodig, worden de stenen op een stalen structuur vastgehecht.

Het procédé voldoet aan de verschillende eisen van de architekten, zowel op « plastisch » vlak en qua textuur als wat het inbouwen van functies in de panelen betreft.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Oktober 1973 setzte sich eine von INIEX, OPI und CRAU und einigen Steinbruchunternehmern aus der Lütticher Gegend gebildete Gruppe zum Ziel, ein Verfahren zur Vorfertigung von architektonischen Platten aus Natursteinen zu entwickeln.

Mit dem zur Zeit angewandten Verfahren werden getrennte Steine durch Leimen zusammengefügt und mit Hilfe von Metallbolzen versteift. Je nach Bedarf werden die Steine von einem Stahlgerüst getragen.

Das Verfahren beugt sich den verschiedenen Anforderungen der Architekten, ob es sich um « plastische » Anforderungen bzw. um Erfordernisse bezüglich des Gefüges handelt oder um den Willen, die Platten eine funktionerfüllende Rolle spielen zu lassen.

SUMMARY

In 1973 a group — made up of INIEX, the OPI and CRAU, and several quarry companies in the Liège region — set out to develop a process for prefabricating architectural panels from natural stone.

The present technique consists of assembling by means of two components adhesives a series of stone elements and conferring rigidity upon them by means of metal pins. If required, the stones are maintained by a steel framework.

The process lends itself to the architects' requirements, either for a « plastic » or textural effect, or for function-designed panels.

* Chef de Département de Recherches, Centre de Recherches d'Architecture et d'Urbanisme (C.R.A.U.) quai Banning, 6 - B-4000 Liège.

1. *Historique*

Il y a une dizaine d'années, un groupe de carriers des Etats-Unis mettait au point un système de préfabrication d'éléments de façade en pierre naturelle. Lors d'un séjour aux Etats-Unis, le professeur J. Englebert, titulaire de la chaire d'architecture de l'Université de Liège, s'intéressait au procédé et dès son retour le proposait à la Fédération du Petit Granit. A cette époque, en 1970, l'idée ne retint pas l'attention d'une industrie pourtant en difficultés.

Le projet devait être repris, trois ans plus tard, par l'Institut National des Industries Extractives. Son directeur, Monsieur Ledent, avec l'aide du Groupement de Relance Economique des Vallées de l'Ourthe et de l'Amblève, parvenait à y intéresser les carriers de la région.

Une aide du Secrétariat d'Etat à l'Economie Régionale permit à une association de onze carriers de financer l'étude du procédé.

Le CRAU se voyait confier le design des prototypes (technique et texture), l'étude des techniques d'assemblage et de transport et l'étude d'un atelier équipé pour ce type de fabrication.

L'INIEX était chargé de l'étude de la colle (type - essais - mise en œuvre) et de l'assemblage des panneaux.

L'OPI avait pour mission d'établir, sur base des rapports techniques, la faisabilité du procédé.

Actuellement, après deux années de recherches et d'essais, le procédé est opérationnel et le groupe des carrières vient d'en produire la première expression en réalisant les éléments architectoniques d'un bâtiment construit au centre de Liège.

1. *Historiek*

Een tiental jaren geleden werkte een groep groeveuitbaters in de Verenigde Staten aan een prefabsysteem voor gevelelementen in natuurstenen. Tijdens een verblijf in de Verenigde Staten vatte professor J. Englebert, die de leerstoel bouwkunde aan de Universiteit van Luik bekleedt, belangstelling op voor dit procédé en stelde het bij zijn terugkeer voor aan de Federatie van de Hardsteennijverheid. Op dat ogenblik, in 1970, betoonde de industrie, die nochtans in moeilijkheden verkeerde, geen interesse voor die idee.

Drie jaar later nam het Nationaal Instituut voor de Extractiebedrijven het project over. Zijn directeur, de heer Ledent, slaagde erin, met behulp van de Groupement de Relance Economique des Vallées de l'Ourthe et de l'Amblève, de belangstelling van de groeveuitbaters uit de streek op te wekken.

Dank zij de steun van het Staatssecretariaat voor Streekeconomie kon een groep van elf groeveuitbaters de studie van het procédé financieren.

Het CRAU kreeg als opdracht de prototypes te ontwerpen (techniek en textuur), de assemblage- en transporttechnieken te onderzoeken en een voor dit soort fabricage uitgeruste werkplaats te bestuderen.

Het NIEB werd belast met de studie van de lijm (type - proeven - toepassing) en de assemblage van de platen.

De taak van de DNB bestond erin, op basis van de technische verslagen, de uitvoerbaarheid van het procédé te bepalen.

Thans, na twee jaar vorsingswerk en proefnemingen, is het procédé operationeel en de groep van groeveuitbaters heeft het voor het eerst concreet toegepast bij het vervaardigen van de bouwelementen voor een gebouw in het centrum van Luik.

2. *Description du procédé*

Ce procédé a pour but d'utiliser des produits pierreux issus des carrières de la région. Le système mis au point emploie donc, comme matière première, des pierres naturelles du type petit granit, granit, marbre, pierre blanche.

Deux techniques d'assemblage ont été mises au point. L'une permet la réalisation de panneaux uniquement constitués de pierres « panneaux homogènes ». C'est le cas des panneaux cadres (fig. 1 et 2).

La seconde technique utilise un support métallique sur lequel les pierres sont agrafées « panneaux mixtes ». Notre choix se porte sur cette dernière solution lors de la fabrication de panneaux du type « allège »

2. *Beschrijving van het procédé*

Dit procédé wil gebruik maken van steenachtige produkten die in de steengroeven van de streek worden gewonnen. Het uitgewerkte systeem gebruikt als grondstof natuurstenen van het type hardsteen, graniet, marmer, witte steen.

Twee assemblagetechnieken werden uitgewerkt, de eerste voor de opbouw van panelen die enkel uit stenen zijn samengesteld, de « homogene panelen ». Deze techniek wordt gebruikt voor de raampanelen (fig. 1 en 2). De tweede techniek maakt gebruik van een metalen steunvlak waarop de stenen worden vastgehecht, de « gemengde panelen ». Wij verkiezen deze techniek bij de fabricage van panelen van het type « raamdorpel » (fig. 3 en 4). In beide geval-

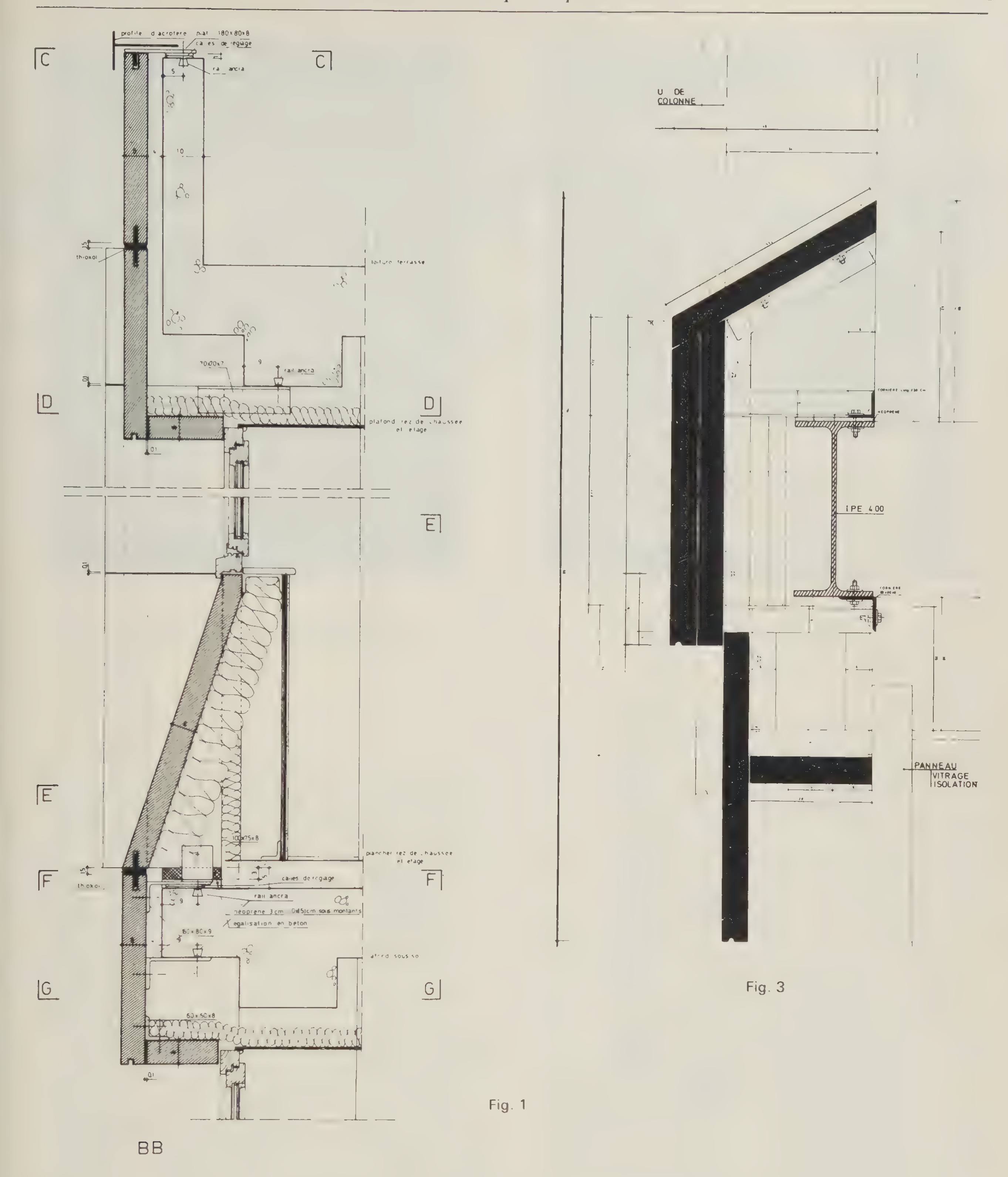


Fig. 3

Fig. 1

(fig. 3 et 4). Dans les deux cas, les pierres débitées sont assemblées entre elles par collage et rigidifiées à l'aide de broches métalliques.

Les épaisseurs des pierres mises en œuvre sont faibles, de l'ordre de 4 à 8 cm, afin de diminuer sensiblement le poids des éléments et par voie de conséquence de soulager les structures des bâtiments.

len worden de verzaagde stenen onderling met lijm samengevoegd en verstevigd met behulp van metalen pennen.

De aangewende stenen zijn niet erg dik, zo'n 4 tot 8 cm, dit om het gewicht van de elementen aanzienlijk te verminderen en bijgevolg de structuur van de gebouwen te verlichten.

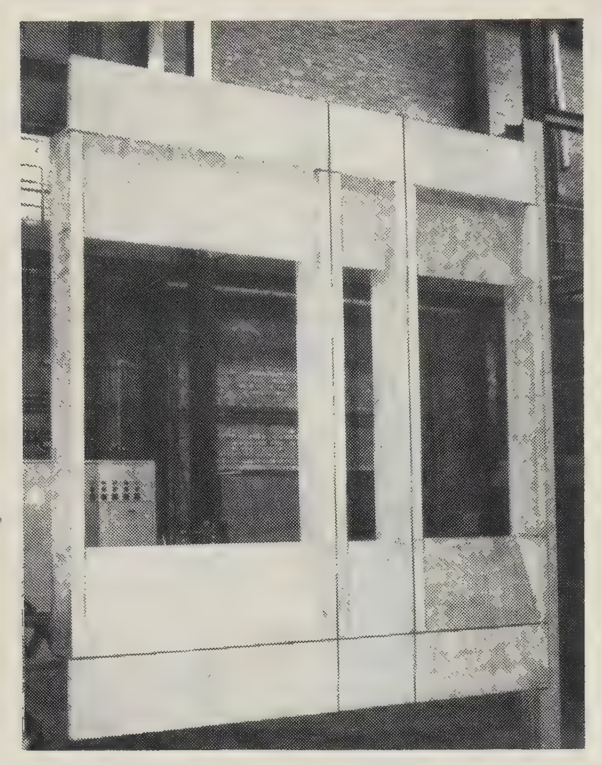


Fig. 2.
Panneau « cadre » prototype H = 3,40 m
Raampaneel - prototype H = 3,40 m

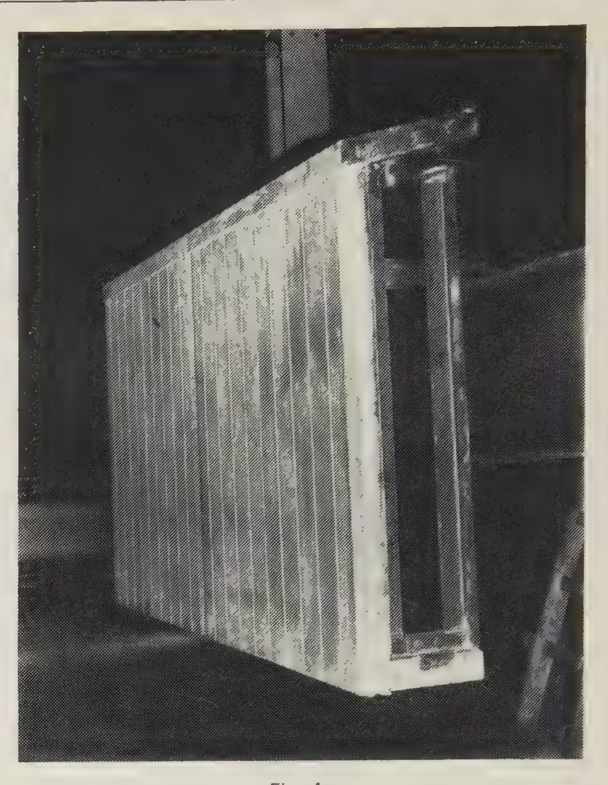


Fig. 4.
Panneau « allège » prototype H = 1,20 m
« Raamdorpel »-paneel - prototype H = 1,20m

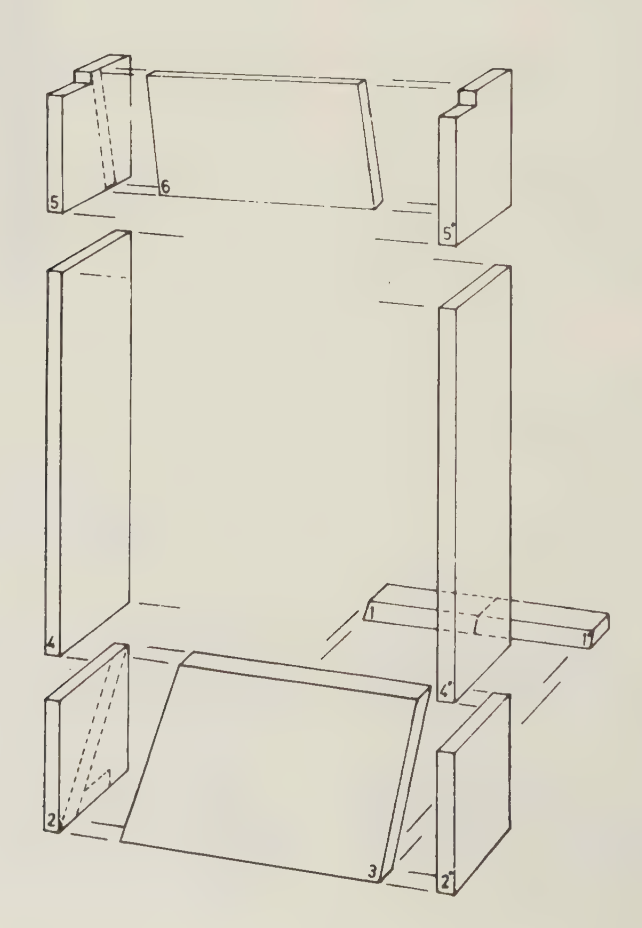


Fig. 5

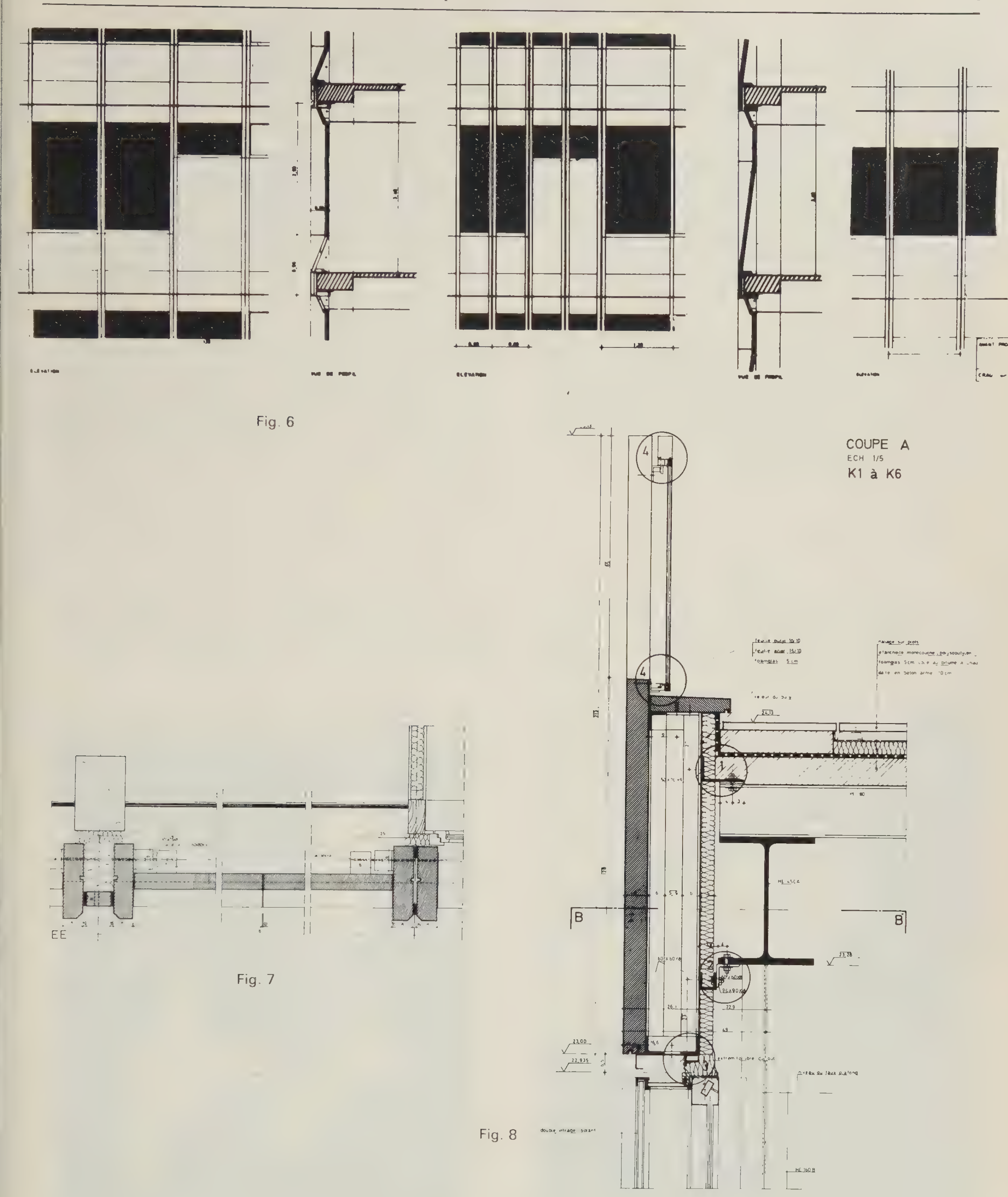


Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

Le placement de ces éléments sur chantier ne préconise aucune technique spéciale. Les systèmes d'attache intégrés aux panneaux ne font appel qu'aux rails du type « Ankra » sur structure en béton et aux boutonnières sur structure en acier (fig. 1 et 5).

Het plaatsen van deze elementen op de werf vergt geen speciale techniek. Voor de in de panelen ingebouwde bevestigingssystemen zijn enkel geleidingslijsten van het type «Ankra» op betonnen structuren en uithollingen op stalen structuren nodig (fig. 1 en 5).

Le procédé n'étant pas tributaire d'un moule, les petites séries de panneaux préfabriqués ne constituent pas une entrave financière au choix de cette technique de revêtement. C'est le cas des petits bâtiments et des façades composées de plusieurs types de panneaux. Le rythme d'une façade peut également se concevoir par une combinaison de panneaux de dimensions différentes. La figure 6 illustre la souplesse du système en présentant, outre des panneaux de 1,20 m et de 0,60 m, des panneaux dont l'élément variable est la dimension des allèges.

Suivant les exigences des architectes, certaines fonctions sont intégrées aux panneaux. Dans l'ensemble des types de panneaux, il est possible de placer l'isolation, l'étanchéité et les points d'attache de canalisations et de boiseries (fig. 7 et 8). Par contre, les panneaux-cadres peuvent être équipés également, dès l'atelier, de leur vitrage.

3. *Aspect*

Les techniques classiques des carrières permettent, par l'utilisation des différentes tailles, d'obtenir des harmonies de tons. L'assemblage de pierres meulées et de pierres taillées accuse, au niveau d'un panneau,

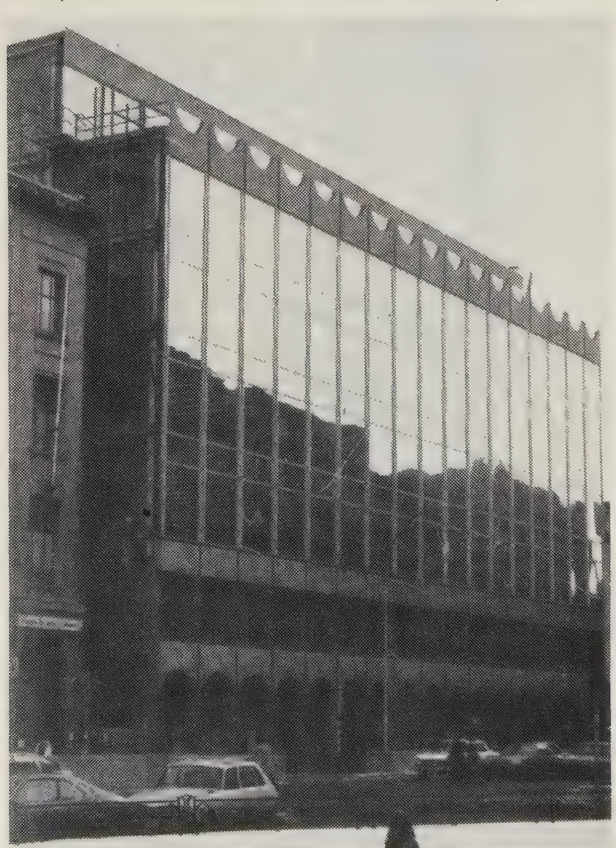


Fig 9.
Banque Bruxelles-Lambert Liège - 1ère réalisation
Bank Brussel-Lambert Luik - Eerste verwezenlijking

Daar het procédé niet afhankelijk is van gietvormen, vormen de kleine series prefabpanelen geen financiële belemmering bij de keuze van deze bekledingstechniek. Dit geldt voor kleine gebouwen en gevels die uit verschillende types van panelen zijn samengesteld. Het gewenste ritme van een gevel kan tevens worden bekomen door panelen van verschillende afmetingen te combineren. Figuur 6 illustreert de soepelheid van het systeem ; naast panelen van 1,20 m en 0,60 m zijn eveneens panelen afgebeeld waarvan de afmeting van de raamdorpels het veranderlijk element vormt.

Volgens de eisen van de architekt worden bepaalde functies in de panelen ingebouwd. Bij alle types kunnen de isolatie, de waterdichtheid en de bevestigingspunten van leidingen en houtwerk worden ingebouwd (fig. 7 en 8). De raampanelen kunnen bovendien reeds in de werkplaats van ruiten worden voorzien.

3. *Uitzicht*

De klassieke groevetechnieken maken het mogelijk, door het aanwenden van de verschillende bewerkingsmethoden, kleurenharmonieën te bekomen. Het samenvoegen van geslepen en van gehouwen



Fig. 10.
Panneau Croix prototype H = 3,40 m
Kruispaneel - prototype H = 3,40 m

la dominance de certains éléments sur d'autres. Cette expression se voit d'ailleurs accentuée ou modérée par les jeux d'ombre et de lumière.

Quant au vieillissement, la pierre naturelle a depuis longtemps prouvé son aptitude à lui résister. La pierre est souvent moins poreuse que d'autres matériaux et, par conséquent, la pénétration et l'adhérence des salissures s'effectuent beaucoup plus difficilement.

stenen kan in eenzelfde paneel bepaalde elementen duidelijker doen uitkomen dan andere. Dit effect wordt overigens nog versterkt of gematigd door het spel van licht en schaduw.

Qua veroudering heeft de natuursteen reeds sedert lang bewezen dat hij daar goed tegen bestand is. Stenen zijn vaak minder poreus dan andere materialen en daardoor dringt het vuil veel moeilijker door en zal het zich ook niet licht vastzetten.

Nouveaux développements dans le domaine des bétons résineux

Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het harsbeton

Jean BRICTEUX et Claude MICHAUX *

RESUME

La production de béton résineux est encore limitée en Belgique. Les caractéristiques mécaniques, les qualités et l'aspect de ces matériaux permettent cependant d'envisager de nombreuses applications nouvelles : mobiliers urbains ou de jardin, ensembles décoratifs divers, éléments préfabriqués pour la construction... Les dernières réalisations des laboratoires de l'INIEX dans ce domaine sont présentées.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erzeugung von Harzbeton ist in Belgien noch beschränkt. Die mechanischen Eigenschaften, die Vorzüge sowie das Aussehen dieser Materialien stellen allerdings eine Anzahl von Anwendungsgebieten in Aussicht : Möbelteile für Stadt und Garten, diverse Dekorationsgegenstände, Fertigbauteile, usw. Die neulich erzielten Laborergebnisse des INIEX auf diesem Gebiet werden erörtert.

SAMENVATTING

De produktie van harsbeton is nog vrij beperkt in België. Nochtans maken de mechanische eigenschappen, de kwaliteiten en het uitzicht van dit materiaal tal van nieuwe toepassingen mogelijk : stads- of tuinmeubilair, allerlei decoratieve ensembles, geprefabriceerde bouwelementen... De jongste verwezenlijkingen van de NIEB-laboratoria op dit gebied worden voorgesteld.

SUMMARY

Resin concrete is still produced on only a limited scale in Belgium. The mechanical characteristics of this class of materials, and their properties and appearance, do however offer promise of many new applications : — manufacture of garden furniture, various decorative units, prefabricated elements for the building industry, and so on. The article describes the latest developments from the INIEX laboratories.

Les bétons résineux, dont il sera question au cours de cet exposé, concernent les matériaux composites obtenus en utilisant uniquement des résines synthétiques comme liant des matières pierreuses.

Le béton de résine ainsi défini se compose généralement de 5 à 20 % de résine, le plus souvent polyester ou époxyde, et de 95 à 80 % de charges minérales dont la répartition granulométrique varie, suivant les cas, dans de larges proportions.

* Respectivement Chef de Section de Recherches et Chargé de Recherches à l'INIEX, rue du Chéra, 200 — B-4000 Liège.

Harsbeton, waarvan sprake zal zijn in de loop van deze uiteenzetting, is een samengesteld materiaal dat wordt verkregen door enkel kunsthars als bindmiddel voor de steenachtige materialen te gebruiken.

Het aldus omschreven harsbeton bestaat over het algemeen uit 5 tot 20 % hars — meestal polyester- of epoxyhars — en 95 tot 80 % minerale vulstoffen, waarvan de korrelverdeling naargelang van het geval een vrij uitgebreid gebied kan bestrijken.

* Respectievelijk Hoofd van de afdeling opzoekingen en Gecommitteerd onderzoeker bij het NIEB, rue du Chéra, 200 — B-4000 Liège.

Par rapport aux bétons classiques, ils possèdent certains avantages :

— Meilleures caractéristiques mécaniques, particulièrement en traction et en flexion.
— Meilleur aspect de surface : plus lisse et moins perméable.
— Meilleure résistance aux agents chimiques.

Par contre, à volume égal, ils sont plus coûteux que le béton de ciment et leur emploi est réservé, actuellement, à des applications spéciales où leurs qualités de résistance mécanique et de résistance à la corrosion ou leur aspect décoratif les rendent compétitifs.

Le choix de ce thème de recherche par l'INIEX est justifié par deux considérations :

— Les bétons résineux peuvent fournir de nouveaux débouchés aux sous-produits des carrières.
— Les recherches pourraient conduire à des développements industriels nouveaux.

La production de béton résineux est encore limitée en Belgique. Cependant, il suscite un intérêt croissant et plusieurs entreprises ont récemment contacté le laboratoire en vue d'une aide technologique. Ces aides, à caractère confidentiel, nécessitent le plus souvent l'élaboration d'un programme complet avec, entre autres : la mise au point de formulations, la réalisation de mesures mécaniques, d'essais de chocs thermiques et de réaction au feu.

L'aide technologique en faveur de l'industrie, pour toute importante qu'elle soit, ne constitue cependant pas l'objectif principal du laboratoire, lequel, comme il est dit plus haut, est avant tout de trouver des nouveaux débouchés pour ces bétons.

Nous avons pensé que les qualités des bétons de résine pouvaient être pleinement mises à profit pour la réalisation de mobiliers urbains ou de jardin, et des recherches ont été poussées dans ce sens. Par exemple :

— L'étude complète d'un prototype de boîte aux lettres a été menée à bien et, actuellement, les boîtes sont fabriquées en série.
— Une table, avec pied en forme de diabolo, a été coulée dans un moule polyester préparé au laboratoire.
— Plus généralement, diverses directions ont été envisagées : fabrication de bacs à fleurs, pieds de parasol, éléments de clôture.

La comparaison des caractéristiques de ces clôtures à celles des clôtures en bois, en béton classique ou en éléments extrudés synthétiques, montre que le béton résineux allie à la fois légèreté, durabilité, robustesse et facilité d'entretien.

Cependant, le prix de revient, et notamment celui des piquets, est encore trop élevé pour concurrencer valablement les éléments actuellement disponibles sur le marché.

Het biedt bepaalde voordelen t.o.v. het klassieke beton :

— Betere mechanische eigenschappen, vooral wat trek en buiging betreft.
— Beter oppervlakaspect : gladder en minder doordringbaar.
— Betere weerstand tegen scheikundige stoffen.

Daarentegen is het, voor eenzelfde volume, duurder dan cementbeton en de aanwending is voor het ogenblik nog beperkt tot bijzondere toepassingen waarin het, dank zij zijn mechanische en corrosieweerstand en zijn decoratief uitzicht concurrentieel is.

Het NIEB heeft dit onderzoeksthema gekozen om twee redenen :

— Harsbeton kan nieuwe afzetgebieden openen voor de nevenprodukten van steengroeven.
— Het vorsingswerk zou tot nieuwe industriële ontwikkelingen kunnen leiden.

De produktie van harsbeton is nog vrij beperkt in België. Het wekt nochtans een steeds toenemende belangstelling op en verscheidene bedrijven hebben onlangs contact opgenomen met het laboratorium om technologische hulp aan te vragen. Voor deze hulp, die vertrouwelijk wordt verleend, dient meestal een volledig programma uitgewerkt dat ondermeer omvat : het op punt stellen van formuleringen, het verrichten van mechanische metingen, van proeven met thermische schokken en het uittesten van de reactie t.o.v. vuur.

De technologische hulp aan de industrie is weliswaar belangrijk, maar vormt toch niet het hoofddoel van het laboratorium. Vóór alles gaat het erom — zoals hoger werd gezegd — nieuwe afzetgebieden te vinden voor dit beton.

Wij meenden dat de eigenschappen van het harsbeton ten volle zouden kunnen benut worden bij het vervaardigen van stads- of tuinmeubilair ; in die richting werd dan ook onderzoekswerk verricht. Enkele voorbeelden :

— De volledige studie van een brievenbusprototype werd tot een goed einde gebracht en thans worden die bussen in serie gefabriceerd.
— Een tafel met voet in de vorm van een diabolo werd gegoten in een in het laboratorium vervaardigde polyester gietvorm.
— Meer algemeen werden allerlei toepassingen gevonden : bloembakken, parasolstokken, afsluitingselementen.

De vergelijking van de eigenschappen van deze afsluitingen met die van de afsluitingen van hout, van klassiek beton of van geëxtrudeerde synthetische elementen, toont aan dat het harsbeton zowel licht, duurzaam, stevig als gemakkelijk te onderhouden is.

De kostprijs, en met name die van de palen, ligt evenwel nog te hoog om te kunnen concurreren met de thans op de markt beschikbare elementen.

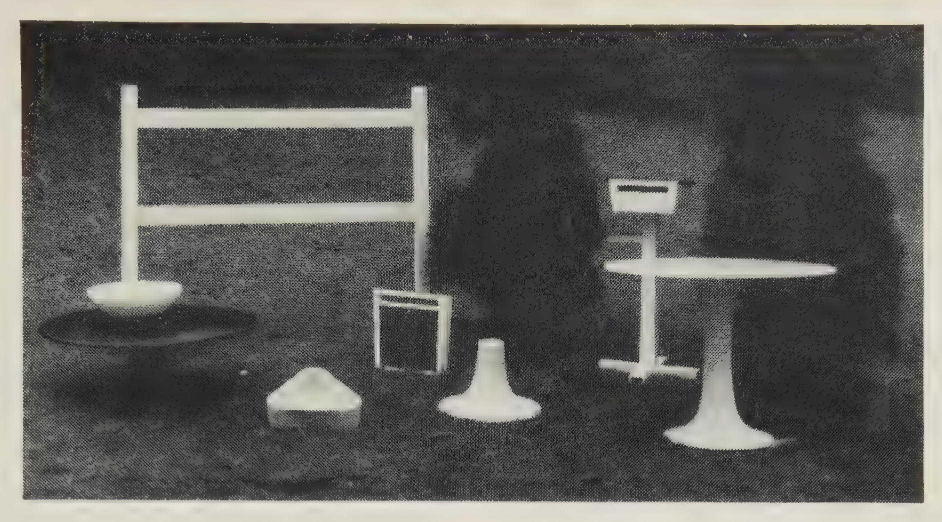


Fig. 1 — Exemples d'articles de mobilier de jardin
Voorbeelden van tuinmeubilairartikelen

Une vue d'ensemble des éléments fabriqués dans les laboratoires de l'INIEX est montrée à la figure 1.

Une voie, tout à fait différente, dans laquelle le laboratoire s'est engagé dès la création de la section « Polymères », est celle des bétons résineux décoratifs et les premières recherches ont porté sur la production d'ardoises et de marbre reconstitué.

Il est possible, en prenant l'empreinte sur une ardoise naturelle, de construire un moule et d'y couler des pièces ayant tout à fait l'aspect du matériau naturel. Ces pièces peuvent avoir des dimensions importantes et pourraient être utilisées à des fins décoratives ou comme matériaux de construction.

Les caractéristiques mécaniques, en flexion par exemple, de ces ardoises ne sont pas, pour des épaisseurs comparables, supérieures à celles des produits existant sur le marché. Cependant, comme pour tous les bétons résineux, on peut fortement améliorer cette résistance en incorporant, soit des fibres, soit un mat de verre.

Résistance en flexion
de divers types d'ardoises

Ardoise naturelle (ép. : 3 à 4 mm)	450 à 600 kg/cm²
Ardoise « Eternit » (ép. : ≃ 3,5 mm)	≃ 300 kg/cm²
Ardoise reconstituée (ép. : ≃ 4,5 mm)	250 à 300 kg/cm²
Ardoise reconstituée avec mat de verre (ép. : 4 à 8 mm)	525 à 850 kg/cm²

Figuur 1 geeft een algemeen overzicht van de in de NIEB-laboratoria vervaardigde elementen.

Een totaal andere richting die het laboratorium van bij de oprichting van de sectie « Polymeren » heeft gevolgd, is de aanwending van harsbeton op het decoratieve vlak. Het eerste onderzoekswerk was gericht op de produktie van leien en van heropgebouwd marmer.

Aan de hand van een afdruk van een natuurlijke lei is het mogelijk een gietvorm te maken en daarin stukken te gieten die precies hetzelfde uitzicht hebben als het natuurlijk materiaal. Deze stukken kunnen grote afmetingen hebben en zouden kunnen worden gebruikt voor decoratieve doeleinden of als bouwmateriaal.

De mechanische eigenschappen, qua buiging bijvoorbeeld, van deze leien zijn, bij dezelfde dikte, niet beter dan die van de op de markt beschikbare produkten. Deze weerstand kan echter, zoals bij alle soorten harsbeton, sterk verbeterd worden door incorporatie van vezels of matglas.

Buigsterkte
van verschillende leisoorten

Natuurlijke lei (dikte : 3 tot 4 mm)	450 tot 600 kg/cm²
« Eternit »-lei (dikte : ≃ 3,5 mm)	≃ 300 kg/cm²
Heropgebouwde lei (dikte : ≃ 4,5 mm)	250 tot 300 kg/cm²
Heropgebouwde lei met matglas (dikte : 4 tot 8 mm)	525 tot 850 kg/cm²

Il a déjà été mentionné lors de la précédente Journée des Carriers, que des recherches en vue de la production d'un marbre reconstitué étaient en cours. En fait, chronologiquement, c'est la première recherche développée dans le domaine des bétons de résine.

La composition du mélange et l'aspect du produit fini ont évolué au cours du temps et finalement des agglomérés, contenant des concassés atteignant 150 mm avec des teneurs en résine égales à environ 5 %, ont été préparés. Il a été ainsi possible d'obtenir des matériaux ayant un aspect proche du matériau naturel : Rouge Belge, Noir Belge, Bleu Belge, Gris d'Ardenne.

Le développement de ce projet aurait pour conséquence de permettre la remise en exploitation, par abattage à l'explosif, d'un certain nombre de gisements de marbre du pays.

L'étude a été menée jusqu'à l'établissement d'un projet d'usine. Le projet a été établi en 1973. Malheureusement, à cette époque, l'augmentation brusque du coût des résines et le ralentissement des activités industrielles ont empêché sa réalisation.

A la demande de l'Economie Régionale Wallonne, cette étude vient d'être réactualisée et il s'avère que, pour une production optimale de 270.000 m²/an, le prix de revient serait de 400 F/m². Les quantités produites sont évidemment importantes et difficiles à écouler complètement sous forme de produits plats. Nous avons pensé qu'il serait possible de transformer une partie de la production en moellons clivés. Dans ce but, quelques expériences ont été réalisées à partir de concassés de petit granit agglomérés à la résine.

L'aspect de ces moellons est tout à fait valable et les essais vont être poursuivis en vue de leur fabrication. Cependant, comme il n'est pas nécessaire qu'ils possèdent des caractéristiques mécaniques particulières, ils seront entrepris à partir de concassés de petit granit agglomérés, non plus à la résine, mais au ciment amélioré par l'adjonction de diverses résines et principalement des acryliques.

En dernier lieu, il reste à considérer un béton résineux particulier qualifié, par les Américains, de « Plastic Marble ». Ce matériau consiste en un mélange composé de résine polyester et de fines calcaires, coloré en cours de malaxage.

La pâte obtenue peut être coulée dans un moule recouvert de gel-coat, lequel donne un aspect poli à la pièce moulée.

A la demande d'une entreprise de la région, nous avons étudié ce matériau qui peut être moulé de manière à obtenir les formes les plus diverses et utilisé dans divers domaines.

Tijdens de vorige Dag van de Groeveuitbaters werd reeds gemeld dat onderzoekswerk met het oog op de produktie van heropgebouwd marmer aan de gang was. Chronologisch is dit in feite het eerste onderzoek op het gebied van het harsbeton.

De samenstelling van het mengsel en het uitzicht van het eindprodukt zijn mettertijd geëvolueerd en uiteindelijk werden agglomeraten aangemaakt die steenslag bevatten van 150 mm met harsgehalten van ongeveer 5 %. Zo is men erin geslaagd materialen te vervaardigen waarvan het uitzicht dat van het natuurlijk materiaal sterk benadert : Rouge Belge, Noir Belge, Bleu Belge, Gris d'Ardenne.

De ontwikkeling van dit project moest het mogelijk maken een aantal marmerafzettingen in dit land opnieuw te gaan exploiteren, door winning met springstoffen.

Deze studie werd voltooid, tot en met een ontwerp voor een fabriek. Dit ontwerp werd in 1973 opgemaakt. Op dat ogenblik echter werd de verwezenlijking ervan verhinderd door de plotse stijging van de harsprijs en de verslapping van de industriële bedrijvigheid.

Op verzoek van Waalse Streekeconomie werd deze studie weer opgenomen. Het blijkt nu dat, bij een optimumproduktie van 270.000 m²/jaar, de kostprijs 400 F/m² zou bedragen. Deze te produceren hoeveelheid is natuurlijk aanzienlijk en zal moeilijk volledig in de vorm van vlakke produkten kunnen worden afgezet. Wij meenden dat het mogelijk zou zijn een gedeelte van de produktie om te zetten in gespleten breuksteen. Met dit doel werden reeds enkele proefnemingen verricht op basis van met hars geagglomereerd steenslag van hardsteen.

Het uitzicht van deze breukstenen is zeer goed en de proefnemingen zullen worden voortgezet met het oog op de fabricage. Daar ze evenwel geen bijzondere mechanische eigenschappen dienen te hebben, zal steenslag van hardsteen worden gebruikt dat niet meer met hars wordt geagglomereerd, maar met door toevoeging van verschillende harsen, vooral acrylharsen, verbeterd cement.

Tenslotte nog enkele woorden over een speciaal soort harsbeton dat door de Amerikanen « Plastic Marble » wordt genoemd. Dit materiaal bestaat uit een mengsel van polyesterhars en fijne kalksteen, dat tijdens de kneding wordt gekleurd. De verkregen brij kan worden gegoten in een gietvorm met gel-coat-oppervlak, dat het gietstuk een gepolijst uitzicht geeft.

Op verzoek van een bedrijf uit de omgeving hebben wij dit materiaal bestudeerd. Het kan in de meest verscheidene vormen worden gegoten en komt voor talloze toepassingen in aanmerking.

Au point de vue de son utilisation comme matériau de construction, le « Plastic Marble » possède de nombreuses caractéristiques favorables :

- — aspect nouveau,
- — tenue à l'ensoleillement et au rayonnement U.V.,
- — non gélif,
- — bonne réaction au feu,
- — facilité d'entretien et de nettoiement de tous graffiti.

Un premier bâtiment vient d'être construit avec des pièces en « Plastic Marble » comme éléments de façade. Ce bâtiment est représenté à la figure 2.

Pour en terminer, il faut encore signaler qu'au cours d'une visite à l'INIEX, des industriels du Moyen-Orient se sont montrés intéressés par ce matériau. Nous avons reçu du sable du Koweit et des mises au point ont été faites à partir de ce sable et de résine polyester. Les résultats ont été concluants et, à l'heure actuelle, d'importants contrats d'exportation de matériel et de know-how sont en cours de discussion entre des firmes belges, koweitiennes et séoudiennes.

Wat het gebruik als bouwmateriaal betreft, biedt het « Plastic Marble » tal van voordelen :

- — nieuw uitzicht,
- — bestand tegen bezonning en tegen U.V.-stralen,
- — bestand tegen vorst,
- — goede reactie t.o.v. vuur,
- — gemakkelijk te onderhouden en te ontdoen van graffiti.

Er werd reeds een eerste gebouw voorzien van gevelelementen in « Plastic Marble ». Dit gebouw is afgebeeld op figuur 2.

Tot slot dient nog vermeld dat industriëlen uit het Midden-Oosten tijdens een bezoek aan het NIEB veel belangstelling aan de dag legden voor dit materiaal. Er werd ons zand uit Koeweit toegestuurd en op basis van dit zand en polyesterhars werden proefnemingen verricht. De resultaten waren beslissend en thans zijn onderhandelingen aan de gang tussen Belgische bedrijven en firma's uit Koeweit en Saoedi-Arabië over belangrijke exportovereenkomsten voor de know-how en de installatie van het materiaal.

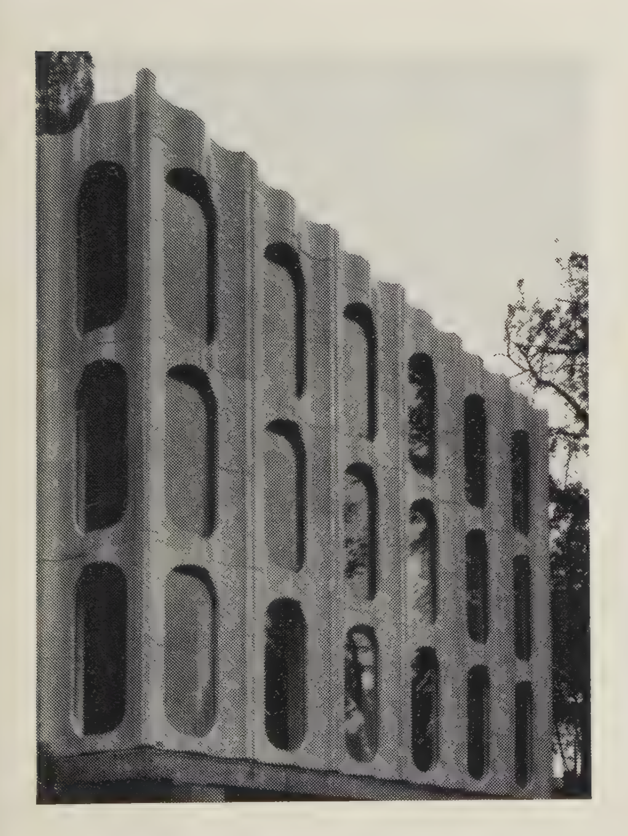


Fig. 2 — Façade en éléments obtenus par moulage à partir d'un mélange de fines calcaires et de résine polyester
Gevel in elementen verkregen door vorming uitgaande van een mengsel fijne kalksteen en polyesterhars

Concentration de la cassitérite par flottation

Jean-Paul MASSIN *

RESUME

Après avoir posé le problème de la pénurie et de la concentration de l'étain, nous tenterons de déterminer les paramètres principaux qui influencent la flottation de la cassitérite.

Pour cela, nous montrerons que des impuretés dans le réseau de la cassitérite jouent un certain rôle. Nous utiliserons le tube de Hallimond pour juger la qualité de certains collecteurs mis à notre disposition et préciser les conditions de travail.

Cette opération sera suivie de la flottation de différents minerais synthétiques. Cette opération nous montrera l'importance d'un débourbage préalable à la première flottation. Nous observerons le manque de sélectivité des collecteurs utilisés.

Les essais sur minerais réels présentent de grosses difficultés au point de vue enrichissement à cause des problèmes de broyage, d'obturation mécanique des grains par les fines et de la cinétique lente des réactions. Les collecteurs classiques ne sont guère utiles ici.

Le manque de sélectivité des réactifs collecteurs et déprimants nous amène à utiliser les seconds avec prudence et à effectuer de nombreux relavages pour obtenir un concentré à teneur moyenne ou à nous tourner vers un type de collecteurs plus sélectifs.

SAMENVATTING

Na het probleem van de tinschaartse en -concentratie gesteld te hebben trachten wij de voornaamste parameters te bepalen die een invloed hebben op de flotatie van het kassiteriet.

Hiertoe tonen wij aan dat onzuiverheden in het rooster van het kassiteriet een bepaalde rol spelen. Wij gebruiken de Hallimondbuis om de kwaliteit te beoordelen van bepaalde collectoren die te onzer beschikking werden gesteld en om de arbeidsvoorwaarden te preciseren.

Hierop volgt de flotatie van verscheidene synthetische ertsen. Die handeling toont ons het belang van een voorafgaand zuiverwassen vòòr de eerste flotatie. Wij bemerken het gebrek aan selectiviteit van de gebruikte collectoren.

De proeven op echt erts vertonen grote moeilijkheden inzake verrijking wegens de problemen van vergruizing, van mechanische dichting van de korrels door het fijnerts en van de langzame kinetiek van de reacties. De klassieke collectoren zijn hier nauwelijks nuttig.

Het gebrek aan selectiviteit van de collecterende en neerdrukkende reagentia brengt ons ertoe deze laatste met omzichtigheid aan te wenden en talrijke nawassingen te doen om een concentraat met gemiddeld gehalte te verkrijgen of om een type van meer selectieve collectoren te gebruiken.

---

* Ingénieur civil métallurgiste (A.I.Lg), Assistant à la chaire de matériaux nucléaires,
Service du professeur R. Collée, Université de Liège, rue Armand Stévart - B-4000 Liège.

ZUSAMMENFASSUNG

Nachdem wir das Problem des Zinnmangels bzw. der Zinnkonzentration umrissen haben, wollen wir versuchen die hauptsächlichen Parameter zu bestimmen, welche auf die Flotation des Kassiterits einen Einfluß ausüben.

Zu diesem Zweck werden wir zeigen, daß Unreinheiten im Gitter des Kassiterits eine gewisse Rolle spielen. Dazu werden wir das Hallimond-Rohr benutzen, um die Qualität gewisser, uns zur Verfügung gestellter Kollektoren zu beurteilen und die Arbeitsbedingungen genauer festzulegen.

Diesem Vorgang schließt sich die Schwimmaufbereitung verschiedener synthetischer Erze an. Dieser Vorgang wird uns die Bedeutung einer vorherigen Entschlämmung bei der ersten Schwimmaufbereitung vor Augen führen. Dabei werden wir die mangelhafte Selektivität der verwendeten Kollektoren beobachten.

Die Versuche anhand echter Erze stoßen auf große Schwierigkeiten im Hinblick auf die Anreicherung aufgrund der mit dem Mahlen zusammenhängenden Probleme, des mechanischen Abdichtens der Körner durch das Feinerz und der langsamen Kinetik der Reaktionen. An dieser Stelle sind die herkömmlichen Kollektoren kaum von Nutzen.

Die mangelhafte Selektivität der Sammel- bzw. drückenden Reagenzien spricht für die Verwendung der Letztgenannten mit der gebotenen Vorsicht und hat uns zum häufigen Nachwaschen veranlaßt, um ein Konzentrat mit mittlerem Gehalt zu erzielen oder uns einer selektiveren Kollektorenart zuzuwenden.

SUMMARY

Having formulated the problem of the shortage and concentration of tin, the author sets out to establish the principal parameters which affect the flotation of cassiterite.

It is demonstrated that the impurities in the cassiterite lattice play some part. We use the Hallimond tube to assess the quality of certain collectors made available to us, and to obtain a clear definition of the working conditions. This operation is followed by the floating of various synthetic minerals, which clearly shows the importance of desliming before the first flotation. The absence of selectivity of the collectors used is clearly apparent.

Trials with natural minerals present major difficulties in respect of enrichment because of the problems of : crushing, mechanical blocking of the particles by the fines, and the slow reaction kinetics. The conventional collectors are of hardly any use here.

The absence of selectivity of the collectors and depressants leads us to be prudent in the use of the latter, and to rewash several times to get a concentrate of average content - or to use a more selective type of collector.

INTRODUCTION

La production industrielle va en augmentant si l'on considère des périodes longues. Comme pour la plupart des matières premières, la demande en étain augmente ; elle est passée de 200.000 tonnes en 1960 à 228.000 tonnes en 1970 et 239.000 tonnes en 1974 (1). Cependant l'augmentation de la demande n'est que difficilement suivie par la production ; en effet en 1974, comme en 1970, on n'a extrait que 216.600 tonnes d'étain. Ce déficit est comblé par l'utilisation des stocks de métal détenu par le Conseil international de l'étain et ceux du Gouvernement américain.

Le nombre des applications industrielles de l'étain augmente . Outre l'étamage qui connaît un succès croissant, nous pouvons citer : soudure, miroiterie, alliages, composés intermétalliques supraconducteurs, fluides caloporteurs, etc... (2). Cela conduit les chercheurs à mettre au point des méthodes et des réactifs pour augmenter la récupération de l'étain.

Anciennement, la concentration de la cassitérite s'effectuait par gravimétrie. Cela était rendu possible par la densité élevée (6,4 à 7,3) de la cassitérite et par le fait que la cassitérite des gisements se présentait en grains relativement gros. Ce procédé a deux défauts : productivité limitée et perte des fines. Or, la teneur moyenne des gisements a tendance à diminuer. Cela nécessite une libération plus poussée des minerais. L'utilisation des broyeurs à boulets engendre une proportion non négligeable de fines. Dans le cas particulier de la cassitérite, cette proportion est plus importante car elle résiste mal à l'abrasion. Pour récupérer ces fines et valoriser certains minerais pauvres ou complexes, les industriels se sont tournés naturellement vers la flottation.

Dès 1930, des recherches ont été entreprises mais avec des réactifs classiques. Ceux-ci étant insuffisants, les chercheurs ont tenté de mettre au point des réactifs spécifiques. Ces efforts ont commencé à donner des résultats valables vers 1964 (3). Dès 1970, de petites réalisations industrielles démarrent.

Avec ces nouveaux réactifs, on peut retraiter les rejets ou exploiter des minerais complexes intraitables jusqu'à ce moment. Parallèlement à ces efforts, d'autres chercheurs mettent au point des fours capables d'utiliser des concentrés à faible teneur en étain. Techniquement, des teneurs de 5 % en Sn sont utilisables bien que, économiquement, il semble que la teneur minimale soit de 10 % en Sn (4). On tente également de diminuer la proportion de fines en utilisant de nouveaux broyeurs.

1. *ROLE DES IMPURETES DU RESEAU CRISTALLIN*

Pour étudier le rôle des impuretés contenues dans le réseau cristallin, les chercheurs font croître des cristaux artificiels de cassitérite. Ils insèrent volontairement dans le réseau des impuretés telles que Fe - Pb - Ta - Nb - W - Zr - Cr ... Ils synthétisent également des cristaux mixtes Sn - Fe avec W ou Ta. A partir de là, on peut montrer que les échantillons qui possèdent la conductibilité électrique maximum et les impuretés comme Ta - W - Nb - Cr, c'est-à-dire les éléments du tableau périodique de classe V. b et VI. b, ont la meilleure flottabilité à pH 6 qui est le pH de meilleure flottation (5).

Les échantillons contenant des éléments qui ont une valence de moins que l'étain ont une conductibilité moindre et une flottabilité inférieure. Les échantillons contenant des impuretés de la classe IV du tableau périodique ne devraient pas modifier la flottabilité (fig. 1). Cependant, on a constaté que, si le nombre atomique augmente, la flottabilité peut augmenter.

Quant à l'activation de la pulpe, on arrive aux mêmes conclusions, c'est-à-dire que Nb - Ta - W activent la flottation de la cassitérite. Comme le fer n'est pas un élément favorable, mais qu'il y a toujours du fer dans le minerai, la flottabilité dépend du rapport Fe/(Nb+Ta) en solution.

Les impuretés présentes dans le réseau cristallin peuvent modifier la solubilité de la cassitérite. Si celle-ci augmente, la flottabilité diminue et inversement. Elles modifient également les paramètres du réseau cristallin. Les variations de paramètres semblent liées à la substitution isomorphique de l'étain avec la cassitérite. Cette substitution modifie le lien chimique local du réseau cristallin. Cela modifie la flottabilité car, après broyage, les faces dont le lien chimique a été modifié présentent une plus grande hydrophobicité.

Le broyage humide fait apparaître en solution les ions que la gangue apporte. Ceux-ci peuvent réagir avec les réactifs et modifier les propriétés de ces derniers. Par exemple : formation de sels, variation de solubilité. Une variation de pH peut modifier la flottation en faisant varier les équilibres chimiques et les potentiels de surface.

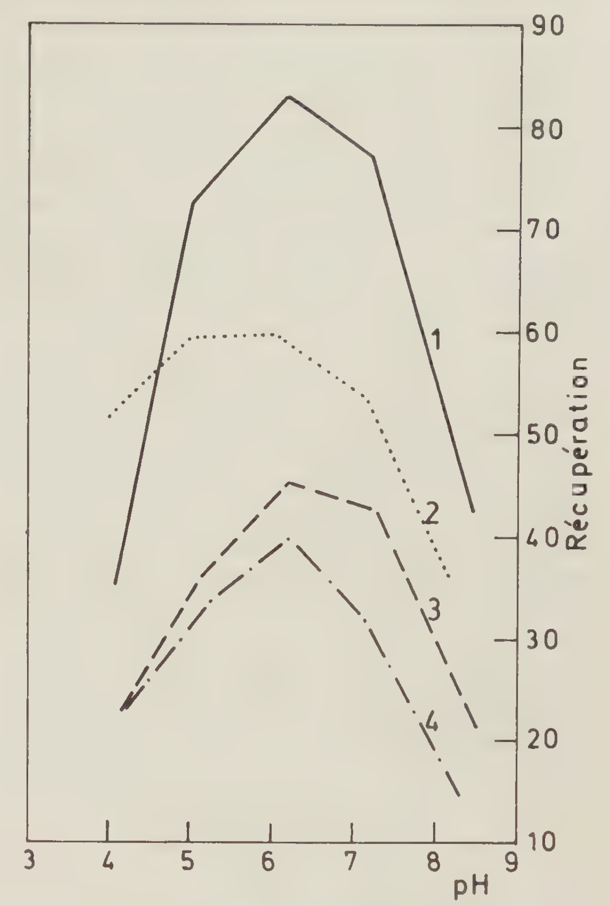


Fig. 1 — Flottation d'un cristal artificiel de SnO_2 à l'oléate de sodium d'après Pol'kin

1 SnO_2 + Nb
2 SnO_2 + Ta
3 SnO_2 + W
4 SnO_2 + Fe

Ces variations de pH et d'hydrophobicité peuvent avoir une grande importance. En effet, elles modifient la liaison entre la surface du minéral (solide) et du liquide. Le potentiel électrocinétique ξ est modifié. On sait d'autre part que la valeur de ξ est importante dans le cas où l'adsorption du collecteur est physique. On a pu montrer expérimentalement que la vitesse de flottation augmente rapidement avec l'association des molécules à la surface du minéral lorsque l'adsorption est physique (cfr. Fuesternau).

2. *DEROULEMENT DES ESSAIS*

Le but de ces essais est la récupération maximale de la cassitérite avec comme réactifs principaux les Citrex. L'obtention d'un concentré riche est assurément importante, mais elle n'a retenu notre attention qu'en second lieu.

Nous répartissons nos essais en quatre phases :

1) les essais au tube de Hallimond ;
2) les essais en cellule de 0,2 litre sur SnO_2 puis sur un mélange SnO_2 - SiO_2 ;
3) les essais en cellule Agitair sur un minerai artificiel SnO_2 — SiO_2 + pyrite ;
4) les essais en cellule Agitair sur un minerai réel.

Les essais n° 3 se justifient car certains minerais réels appartiennent à ce type et il est intéressant de tester leur comportement.

2.1. *Note sur les réactifs utilisés*

L'acide sulfurique et la soude caustique sont des réactifs bien connus et bon marché.

Les Citrex sont dérivés de l'acide citrique. En plus du groupe SO_3H, il y a quatre fonctions carboxyliques — COOH qui peuvent être neutralisées, estérifiées partiellement ou totalement, ce qui règle le rapport hydrophyle/hydrophobe. Les solutions aqueuses sont colloïdales (formation de micelles). Les Citrex sont à la fois collecteurs et moussants.

2.2. *Essais au tube de Hallimond*

Le tube de Hallimond est un appareil de microflottation mis au point par Fuerstenau, Metzger, Soel. Il sert le plus souvent à faire des mesures d'adsorption, d'évolution électrophorétique ou d'inversion de potentiel de surface des minéraux. En flottation, il permet de tester l'efficacité d'un collecteur vis-à-vis d'un minéral pur. Cet appareil permet de maintenir constants tous les paramètres sauf un et de déterminer ainsi son influence.

Lors des essais, le gaz utilisé est l'azote. Nous disposons d'une bonbonne d'azote industriel. Le débit est contrôlé par un rotamètre. Les bulles d'azote sont distribuées par un capillaire de 120 μm en général. En effet, les fractions granulométriques inférieures à 50 μm consomment beaucoup de collecteur et surtout risquent un entraînement mécanique. Les fractions supérieures à 100 μm risquent de ne pas rester accrochées à la bulle lors de la remontée.

2.3. *Conditions opératoires*

Collecteurs : Citrex 1 - Citrex 11 - Citrex 30 - Acide oléique - 500 g/tonne.
Réglage du pH : H_2SO_4 ou NaOH
Conditionnement : 5 min
Flottation : 10 min
Agitation : faible
Débit azote : 0,3 litre/min
pH naturel de la pulpe : 5,5

Composition du minéral utilisé :
SnO_2 : 80,50 %
SiO_2 : 4,13 %
Fe : 1,00 %
S : traces
Fraction granulométrique : 43 à 63 μm.

Les courbes des figures 2 et 3 représentent les récupérations en % lors des variations unitaires du pH.

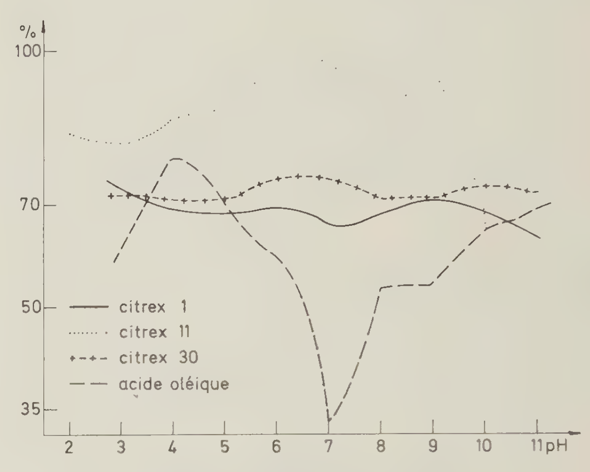


Fig. 2 — Variation de la flottabilité en fonction du pH et du collecteur



Fig. 3 — Variation de la flottabilité en fonction du pH

2.4. *Observations*

L'obtention de résultats optimaux nécessite une adaptation de la granulométrie au diamètre du capillaire. Avec un Φ = 120 μm pour notre capillaire, des essais préliminaires nous ont conduits à choisir la fraction granulométrique comprise entre 43 et 63 μm pour l'essai 2. Pour les autres essais, notre granulométrie variait entre 50 et 100 μm. Ceci explique les meilleurs résultats observés avec les Citrex 11 et 30. Mais l'expérience prouve que l'allure générale des diagrammes reste semblable à elle-même. Ceci est également vrai pour les deux capillaires utilisés.

Les réactifs Citrex se montrent assez insensibles vis-à-vis du pH, excepté le Citrex 11 vers les pH très basiques. L'acide oléique collecte un maximum vers pH 4,5. Cela correspond à la constante de dissociation oléate — acide oléique dont le pH vaut 4,7. De plus, le ZPC * de la cassitérite est aussi dans cette zone de pH. L'ion oléate est adsorbé physiquement par l'ion Sn^{2+} du minéral. Si le pH diminue, la charge du minéral augmente, mais les ions oléates sont concurrencés par les ions SO_4.

Cependant, il faut remarquer que les résultats obtenus peuvent varier avec la pureté du minéral de cassitérite utilisé et avec la nature des impuretés que l'on rencontre.

Les conditions de travail au tube de Hallimond sont éloignées de celles observées en pratique : pas de moussant, ni de boues, ni d'interférence avec d'autres minéraux flottables, pas de sels en solution, pas d'oxygène dans le gaz formant les bulles. Les résultats obtenus au tube de Hallimond sont donc une base de travail.

3. *LES ESSAIS EN PETITE CELLULE*

3.1. *Etude de quelques paramètres*

Nous disposons d'une cellule de volume utile de 0,2 litre, soit une capacité de 40 g avec le rapport minerai/eau de 1 à 4 (rapport généralement admis). Nous étudions la granulométrie, le conditionnement, la quantité de collecteur, les déprimants, l'agitation. Puis nous tenterons d'effectuer une flottation différentielle sur un minerai synthétique, mélange de SnO_2 — SiO_2.

Pour comparer les résultats obtenus au tube de Hallimond, nous testerons d'abord le Citrex 11 en faisant varier le pH.

Minerai : Sn : 67,90 %
SiO_2 : 4,13 %
Fe : 1,00 %
S : traces.

Son analyse granulométrique est représentée à la figure 4. Cette distribution implique un broyage que nous avons effectué au broyeur à cône. Les résultats sont présentés à la figure 4, courbe broyage 1.

Les premiers essais nous ont conduits à augmenter le taux de broyage et nous obtenons la courbe broyage 2.

On peut remarquer que la fraction granulométrique comprise entre 10 et 52 μm représente 90 % de la masse. Cette distribution est semblable à celle observée dans les rejets de concentration gravimétrique. Il est évidemment intéressant de tenter de récupérer ces anciens rejets et d'essayer de flotter sélectivement les grains très fins.

Etant donné la grande surface spécifique des grains, une importante quantité de collecteur sera nécessaire.

3.2. *Mode opératoire*

Après avoir échantillonné le minerai par quantité de 40 g, nous additionnons l'eau (0,16 litre), le collecteur (1 kg/t) et réglons le pH. Nous conditionnons la pulpe pendant cinq minutes. Nous réajustons alors le pH car de petits écarts sont observés avant et après conditionnement. Il semble qu'une réaction à faible vitesse consomme de l'acide. Après l'obtention d'un premier concentré, nous ajoutons du collecteur, ajustons le pH et nous effectuons une deuxième flottation.

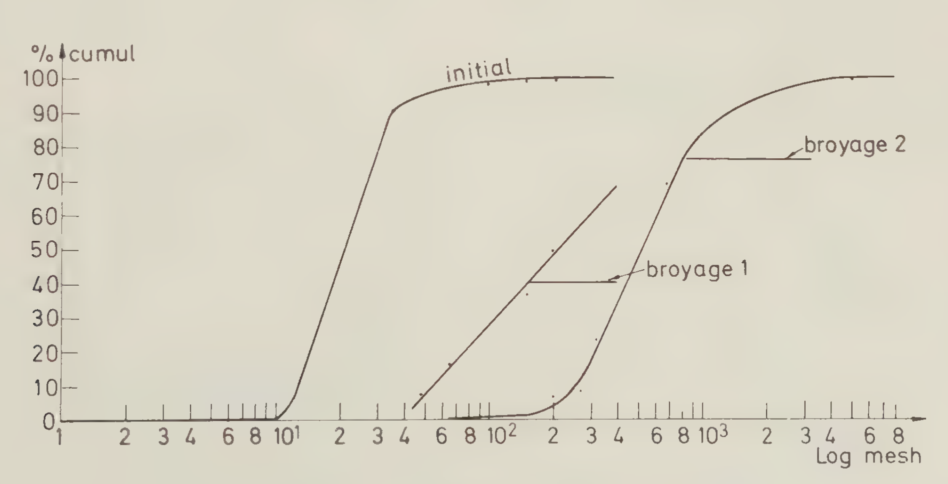


Fig. 4 — Evolution de la granulométrie en fontion du broyage

* Le ZPC est le point de charge zéro.

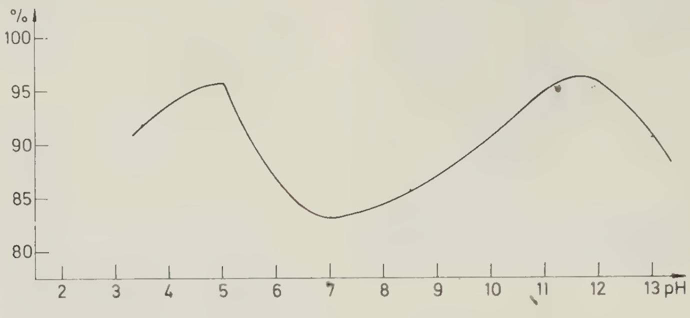


Fig. 5 — Etude du Citrex 11 en fonction du pH

Les résultats obtenus sont présentés à la figure 5. En abscisse, nous portons le pH et, en ordonnée, le pourcentage de récupération, c'est-à-dire

$$\frac{\text{quantité de métal récupéré}}{\text{quantité de métal récupérable}}$$

L'analyse de la courbe nous montre que le pH optimum se situe entre 4 et 5 (fig. 5). Les pH très basiques sont également utilisables. Cependant, la littérature consultée indique que les pH utilisés varient entre 3,5 et 5 (8). Ces résultats ne sont pas en accord total avec ceux observés au tube de Hallimond. Cela provient des conditions opératoires différentes utilisées dans les deux types d'expériences.

Nous avons testé également un sulfonate de pétrole (Pétronate Cr — Tensia —). Ce genre de réactifs est conseillé par certains expérimentateurs. Si ces réactifs collectent bien la cassitérite pure, ils montrent vis-à-vis d'elle peu de sélectivité. Cela nous amènera ultérieurement à les abandonner. Toutefois, dans le cas de minerais peu complexes, ils peuvent présenter un certain intérêt.

Nous reprenons le minerai utilisé précédemment, ainsi que la même distribution granulométrique. Nous utilisons 2 × 1 kg/tonne de collecteur et un conditionnement de 10 minutes.

Comme dans le cas du Citrex 11, le pH optimum correspond au pH 4,5 - 5 (fig. 6), soit le ZPC de la cassitérite. Ici également, la zone très basique peut être utilisée.

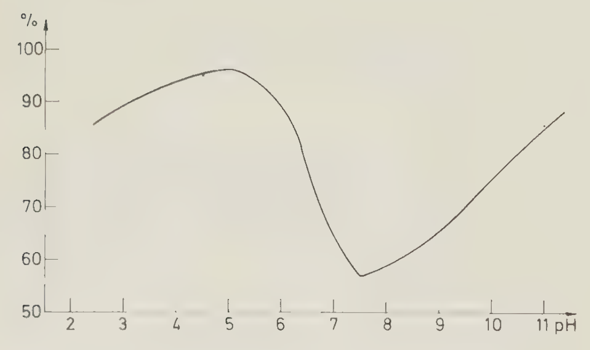


Fig. 6 — Etude du Pétronate Cr en fonction du pH

Nous terminons par 2 flottations pour lesquelles nous utilisons du silicate de sodium, afin de mesurer son influence sur la collection de la cassitérite.

Avec 1 kg par tonne de Na_2SiO_3 et le Citrex 11 comme collecteur, le rendement au pH optimum passe de 96,5 % à 30,7 %. Pour le pétronate, de 95 % à 68 %.

Ces expériences montrent que l'emploi de silicate sodique est délicat. En effet, s'il est dispersant des boues, le silicate déprime la silice mais aussi la cassitérite. Son utilisation en grande quantité ne nous semble guère conseillée.

3.3. *Flottation différentielle*

3.3.1. *Etude d'un minerai synthétique riche*

Pour suivre, nous allons tenter de flotter sélectivement la cassitérite d'un minerai synthétique ; nous utiliserons les collecteurs Citrex 11 et 30 (UCB), un sulfonate de pétrole, le Pétronate Cr (Tensia) et nous ajouterons du silicate sodique lors de certaines expériences et constaterons son influence. Nous diminuerons progressivement la teneur en étain et augmenterons la teneur en silice de notre minerai.

Soit le minerai composé de SnO_2 : 46,2 %
Fe : 0,5 %
SiO_2 : 52 %

Pour ce type de minerai, la sélectivité et la récupération optimales sont obtenues par les conditions suivantes :

pH :	4,5
Citrex 11 :	1,1 kg/t
Pétronate :	1 kg/t
Conditionnement :	5 min.

La teneur en Sn du premier concentré se situe vers 55 % et la récupération vers 90 %.

3.3.2. *Etude d'un minerai synthétique à faible teneur*

Minerai : SnO_2 : 4,6 %
Fe : 4,2 %
SiO_2 : 77,1 %.

Dans les mêmes conditions nous obtenons une teneur de l'ordre de 10 % et une récupération de l'ordre de 83 %.

Nous avons également testé sur ce minerai, le Citrex 30. Les meilleurs résultats sont obtenus dans les conditions suivantes :

pH :	4,5
Citrex 30 :	0,7 kg/t
Na_2SiO_3 :	0,65 kg/t
Conditionnement :	25 min.

La teneur en Sn du premier concentré se situe vers 13,3 % et la récupération vers 83 %.

3.3.3. *Observations*

Ces essais montrent qu'il est difficile d'obtenir un concentré relativement riche avec une récupération suffisante. Pour épuiser le minerai en une passe, il faut accepter un très faible enrichissement dans les concentrés. De nombreux recyclages sont assurément nécessaires. A ce stade de l'étude, nous pouvons déjà dégager deux méthodes de travail suivant que l'on veut simuler l'ébauchage ou la concentration finale. Dans le second cas, on peut dire que la masse des concentrés obtenus doit être faible et l'utilisation de silicate sodique limitée. A l'ébauchage, des quantités importantes de collecteur et une proportion suffisante de silicate sodique peuvent être utilisées. Il semble qu'un rapport quantité de collecteur/quantité de déprimant doit être respecté.

Pour des teneurs en étain de l'ordre de quelques pourcents, la supériorité du mélange Citrex 11 — Pétronate s'efface. En effet, le manque de sélectivité du pétronate commence à se faire sentir. Comme il collecte très bien les oxydes de fer et que la proportion de ceux-ci augmente dans notre minerai synthétique, il y a concurrence entre oxydes de fer et d'étain pour être flottés. Finalement, les premiers l'emportent et l'enrichissement en Sn est limité.

3.4. *Etude d'un minerai synthétique oxydé à gangue contenant des sulfures*

3.4.1. *Minerai à teneur moyenne*

Nous étudions la flottation d'un mélange de minerai sulfure-oxyde.

De tels gisements se rencontrent dans les Cornouailles avec une gangue de chalcopyrite, du mispickel, de la pyrite et un peu de blende. En Malaisie, elle se compose de chalcopyrite, de pyrite et de mispickel. En Bolivie, de pyrite principalement pour les gisements du Nord : ailleurs de mispickel (9).

Composition du minerai

SnO_2 :	4,62 %
S :	10,45 %
SiO_2 :	56,20 %
Fe :	7,65 %

La flottation des sulfures sera effectuée, en premier lieu, dans des conditions bien connues.

Les conditions optimales de récupération sont les suivantes, pour la cassitérite :

pH :	4,5
Citrex 11 :	1 kg/t
Pétronate :	1 kg/t
Conditionnement :	10 min.

La teneur en Sn du concentré se situe vers 10 % et la récupération vers 93 %.

Ces deux premiers essais présentent d'excellents enseignements. Il faut d'abord remarquer l'importante récupération obtenue ; la teneur du rejet est basse, le concentré C_2 est relativement riche et représente une part pondérale importante. La flottation en tête de la pyrite entraîne toutes les boues très fines que le silicate sodique a dispersées et cette flottation fait office de débourbage pour les étapes suivantes, ce qui est toujours favorable dans le cas de la cassitérite (Gaudin).

Les grains de cassitérite n'étant plus obturés mécaniquement par les fines, on peut les collecter plus complètement et plus facilement. Cependant, on observe un certain pourcentage d'étain qui est entraîné avec les fines dans le concentré sulfuré (de l'ordre de 1 %). C'est une perte inévitable à ce stade. Pour flotter complètement la pyrite, nous avons testé le réactif Z_3 et Z_6et, pour déprimer le reste de la pyrite, nous avons utilisé du NaCN. Les premiers résultats sont peu probants.

3.4.2. *Minerai à faible teneur*

Composition du minerai

SnO_2 :	2,31 %
S :	10,45 %
SiO_2 :	57,60 %
Fe :	7,75 %

Après flottation des sulfures, les conditions optimales de récupération de la cassitérite sont les suivantes :

pH :	5
Citrex 11 :	1 kg/t
Pétronate :	1,5 kg/t
Conditionnement :	10 min.

La teneur en Sn du concentré se situe vers 6 % et la récupération vers 95 %.

3.4.3. *Minerai à très faible teneur*

Composition du minerai

SnO_2 :	1,15 %
S :	10,45 %
SiO_2 :	58,50 %
Fe :	7,80 %

Les conditions optimales de récupération de la cassitérite sont les suivantes :

pH :	5
Citrex 11 :	2 kg/t
Conditionnement :	10 min.

La teneur en Sn du concentré se situe vers 5,5 % et la récupération vers 95 %.

3.5. *Observations*

Lors de cette série d'essais, nous avons testé des réactifs adjuvants : sulfate de cuivre, gas-oil, l'Aéropromoter 825 (9). Aucun de ces réactifs n'a une influence suffisante pour être retenu. L'usage du silicate sodique a tendance à diminuer les quantités flottées — 15 % et à augmenter légèrement les teneurs dans des diverses fractions, donc également dans le rejet + 10 %. La perte en étain observée dans les rejets semble être majorée de 5 % du métal récupérable.

Pour diminuer la teneur en soufre des concentrés, nous avons essayé de déprimer la pyrite, après avoir flotté un concentré sulfuré en tête. L'efficacité du NaCN comme déprimant est faible vis-à-vis de celle des collecteurs puissants utilisés pour la flottation de la cassitérite et qui collectent également les sulfures. La meilleure façon d'opérer est d'employer un collecteur puissant et d'effectuer une flottation assez longue qui permet de recueillir tous les sulfures en ne collectant que les boues de cassitérite. Il est clair que les pertes d'étain à ce niveau proviennent de l'entraînement mécanique des fines, les collecteurs de sulfures n'étant pas assez puissants pour faire flotter la cassitérite.

Pour une alimentation de 34 % Sn, on peut obtenir un concentré de l'ordre de 55 % soit un rapport de 1,6. Si l'alimentation est de 3,4 % Sn, le rapport passe à 2,6 avec un concentré de l'ordre de 9 %. Pour une alimentation de 1,7 % Sn, on peut obtenir une teneur de l'ordre de 6 % dans le C_1, soit un rapport de 3,5, et une diminution des masses à traiter de l'ordre d'un quart. Si l'alimentation tient 0,85 % en Sn, on peut obtenir 5,5 % dans le C_1, soit un coefficient de l'ordre de 6,5, avec une diminution des masses à traiter de l'ordre de 50 % (fig. 7).

3.6. *Conclusion*

En conclusion de ce travail sur minerai synthétique, nous pouvons dire qu'un débourbage est un élément favorable pour la flottation de la cassitérite, la perte en étain à ce stade étant de l'ordre de 1 %. Si une flottation préliminaire d'une gangue sulfurée remplit cet office, l'addition de silicate comme dispersant des fines favorise cette flottation tant que sa quantité usée est inférieure à celle du collecteur.

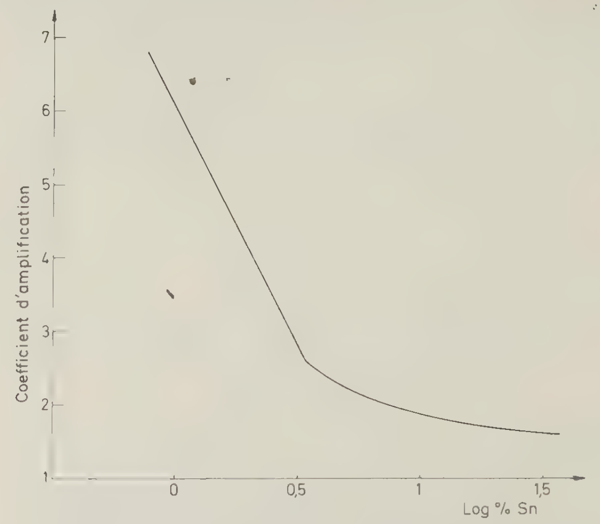


Fig. 7 — Variation du coefficient d'amplification en fonction de la teneur initiale en Sn

Pour les très faibles teneurs en étain, le Citrex 11 semble être le collecteur le plus sélectif. Si nous augmentons la teneur, le mélange Citrex-Pétronate l'emporte, vu qu'à ce stade la puissance du collecteur est un élément très important.

L'obtention d'un concentré riche nécessite une durée de flottation très courte et par là un nombre important de recyclages (fig. 7). Une première approximation montre que, pour passer de 1 % à un concentré de 55 % en Sn avec un minerai synthétique, donc parfaitement libéré, il faut effectuer cinq cycles. Il n'est en effet pas possible d'effectuer en un stade une flottation telle que le concentré soit relativement riche et le rejet pauvre, comme c'est le cas pour les minerais sulfurés à gangue oxydée. Nous avons tenté d'appliquer toutes ces données à la flottation d'un minerai réel et constaté quelles sont les différences que l'on observe entre un minerai réel et un minerai synthétique.

4. *ESSAI SUR UN MINERAI REEL*

4.1. *Le minerai*

Nous disposons d'un minerai de cassitérite originaire du Shaba. Son analyse chimique est la suivante :

Sn :	1,9 %	K :	2,6 %
Fe :	6,21 %	Na :	2,2 %
SiO_2 :	60,02 %	Mn :	0,15 %
S :	0,1 %	perte :	2,3 %
Al_2O_3 :	7,0 %		

L'examen minéralogique d'un échantillon du minerai montre que celui-ci se compose des minéraux suivants (fig. 8 à 13).



Fig. 8

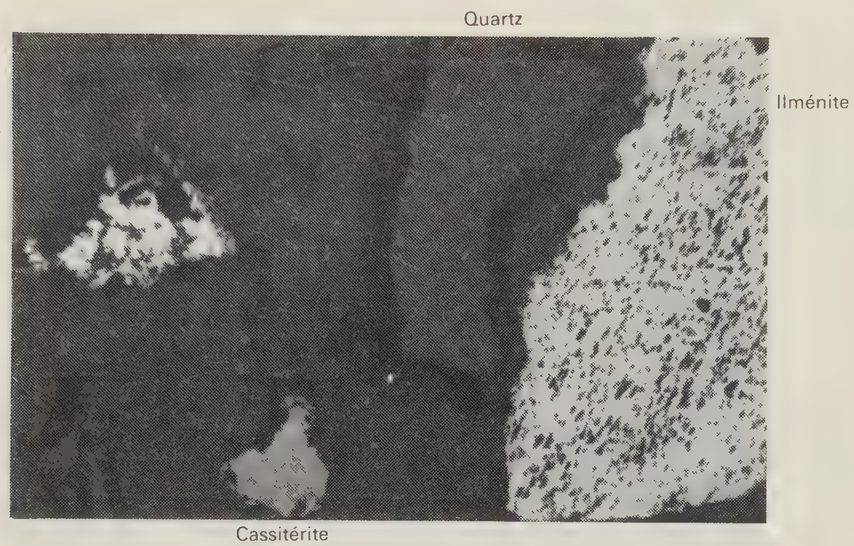


Fig. 9

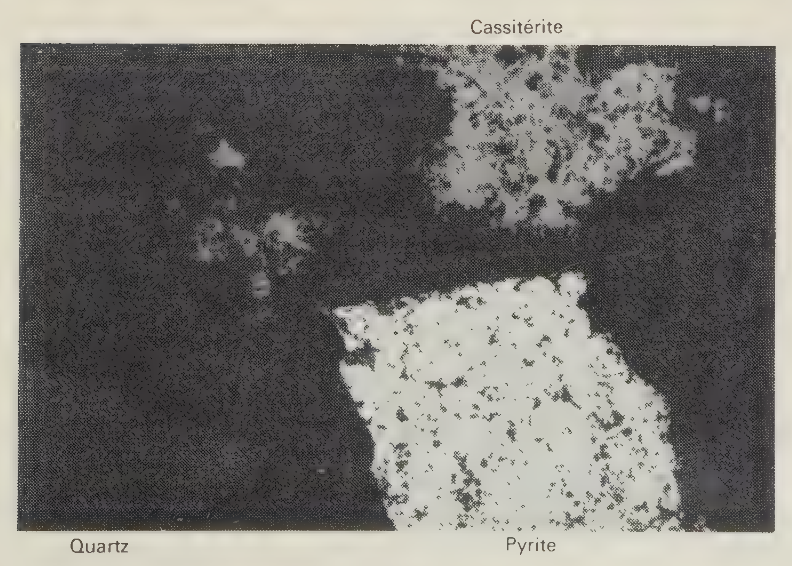


Fig 10

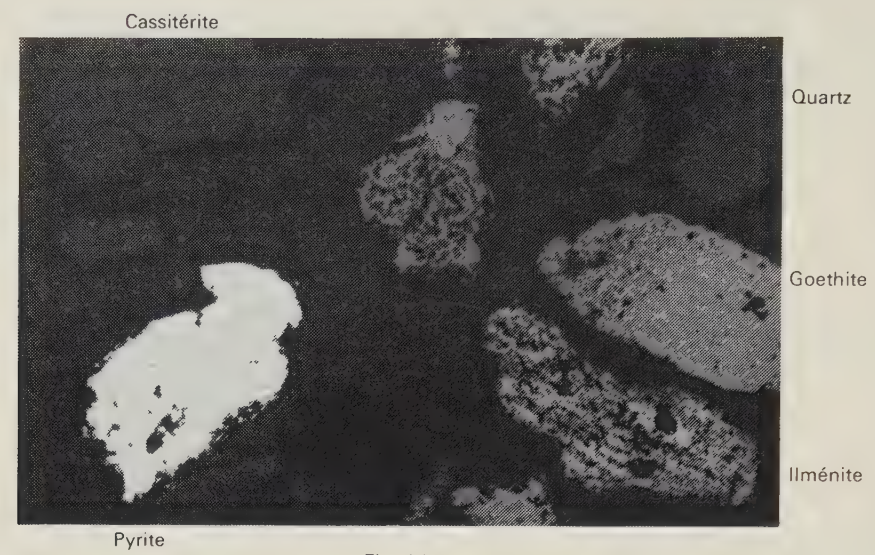


Fig. 11

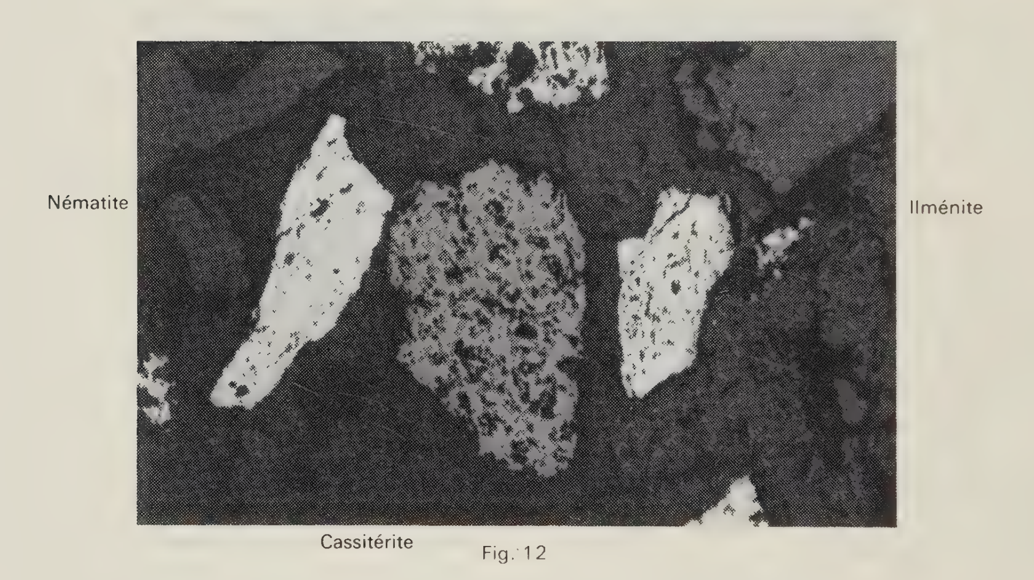


Fig. 12

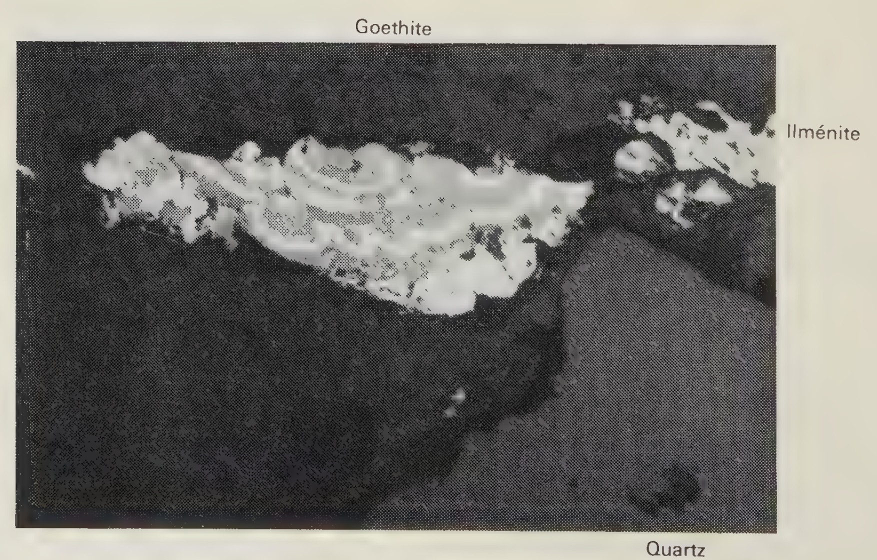
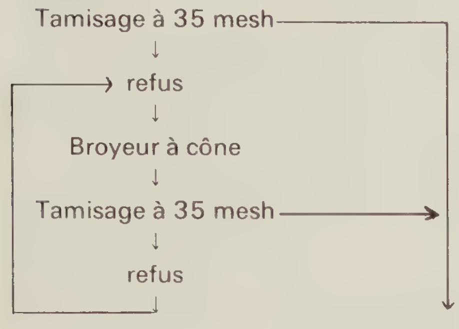


Fig. 13

On a reconnu :
quartz
Ilménite, Hématite, Goethite, Rutile, Pyrite,
Chalcopyrite en traces
Cassitérite.

Les traces de mineraux sulfurés indiquent que nous sommes en présence d'un minerai alluvionnaire.

Après échantillonnage, nous opérons de la façon suivante :



Avec ce type de rhéogramme, nous obtenons la distribution granulométrique représentée à la figure 14 pour l'alimentation du broyeur à boulets.

On remarque la quantité déjà importante (25 % < 200 mesh) de fines créées lors du concassage. Le minerai est fragile et résiste peu à l'abrasion.

Séparation magnétique

Nous alimentons le séparateur magnétique avec le minerai concassé (cf. supra). Nous obtenons la courbe de la figure 15. Nous constatons que nous pouvons séparer la magnétite et la Wolframite en entraînant une certaine quantité d'étain. Ceci est dû au manque de libération des minéraux.

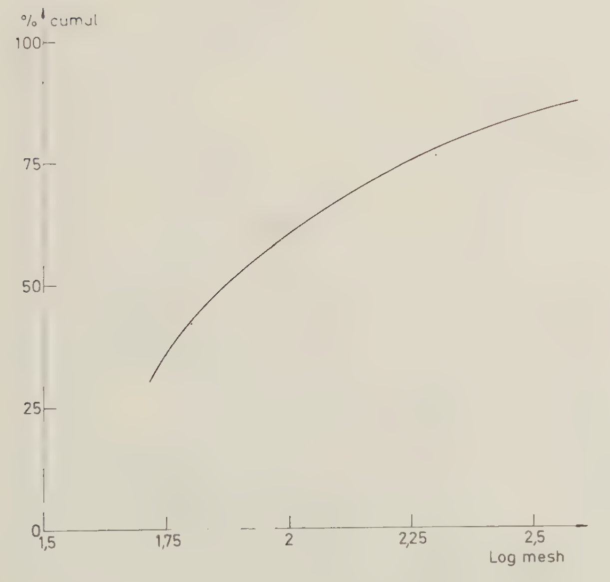


Fig. 14 — Courbe granulométrique

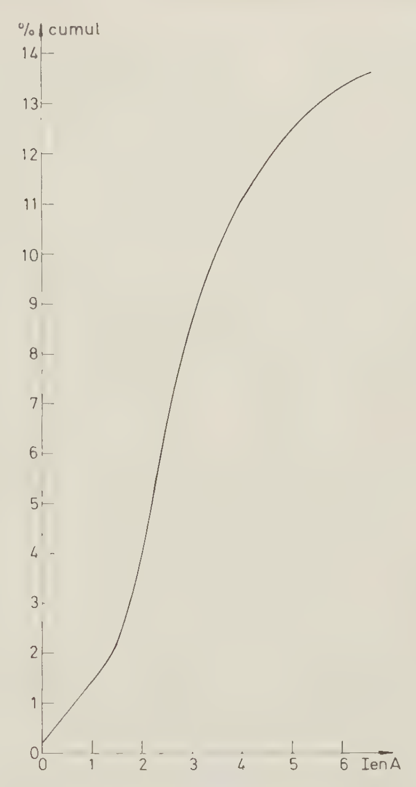


Fig. 15 — Variation de la récupération en fonction de l'intensité

4.2. *Problème de broyage*

Après ces premières manipulations, nous avons cherché le temps de broyage nécessaire à une libération suffisante mais sans créer pour cela trop de fines. Nous disposons d'un broyeur à boulets Denver cylindro-conique sans débordement, tournant à 60 tours/minute. Dans celui-ci, nous plaçons 1 kg de minerai, 7 kg de boulets et 1 litre d'eau distillée. Après broyage (d'une durée à préciser), nous effectuons une flottation suivant les données recueillies au chapitre 3.

1 kg minerai — 4 litres d'eau distillée — agitation 700 tours/min dans une cellule Agitair.
Conditionnement : 15 min.
pH : 5,2.
Réactifs :
C_1 Citrex 11 : 0,5 kg/t
Sulfonate de pétrole : 0,5 kg/t
Na_2SiO_3 : 0,5 kg/t
C_2 Citrex 11 : 0,5 kg/t
Sulfonate de pétrole : 0,5 kg/t.
Moussant : huile de pin.

Nous allons faire varier comme seul paramètre la durée du broyage.

Nous avons choisi 14 - 16 - 22 - 25 minutes de broyage. La fig. 16 montre que la durée idéale de broyage se situe aux alentours de 16 minutes.

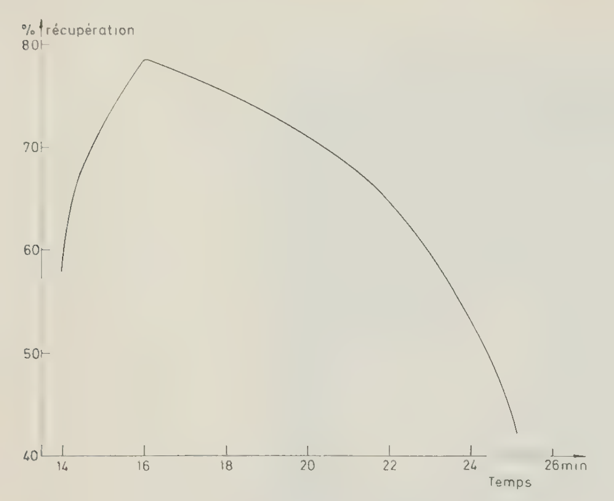


Fig. 16 — Variation de la récupération en fonction de la durée du broyage

Nous avons également effectué une analyse granulométrique sur les différents constituants de la flottation la meilleure. Les résultats sont reportés à la figure 17.

De ces premières expériences, il se dégage deux conclusions importantes : le surbroyage et l'entraînement mécanique. Si nous examinons la figure 14, nous observons une proportion élevée de < 325 mesh, alors que le refus à 60 mesh est de l'ordre de 40 %. Cela indique que le surbroyage de ce type de minerai est très fréquent, même si nous prenons les précautions nécessaires telles que broyage très progressif, tamisage entre chaque broyage. La cassitérite se présente dans les minerais complexes sous forme de grains finement disséminés. *Dans ces conditions, il est difficile d'obtenir une granulométrie serrée.* Une libération suffisante implique un broyage poussé, et l'on sait que la cassitérite résiste mal à l'abrasion. Le classement à tous les stades est indispensable et, dès le broyage secondaire, on obtient une proportion non négligeable de fines dont la granulométrie est adaptée à la flottation. Cela confirme les observations de Bogdanov, Boulter et Moncrieff.

La deuxième constatation concerne la distribution granulométrique des différentes parties d'une flottation. En effet, la fraction < 325 mesh passe de 85,6 % pour le C_1 à 39,7 % pour le rejet. Inversément, la fraction 100 - 150 mesh passe de 2,4 % pour le C_1 à 12,2 % pour le rejet. Il y a donc, lors de la flottation, un classement granulométrique non négligeable qui s'effectue et ce, au détriment de la sélectivité de l'opération. En conséquence, il faut veiller à avoir une alimentation dont la granulométrie est étroitement classée, grâce à des broyeurs adéquats, à éviter les entraînements mécaniques des fines par une agitation trop violente ou une hauteur de mousse trop faible et éventuellement à rebroyer le rejet avant de le retraiter pour obtenir une libération plus complète des grains, ainsi qu'une granulométrie mieux adaptée à la flottation. Cependant, cette dernière opération verra son intérêt diminuer si l'alimentation est soignée.

La quantité importante de < 100 mesh dans le C_3 montre que le temps de conditionnement devra être long afin d'éviter un manque d'enrichissement dans les premiers concentrés dus à un manque de collection.

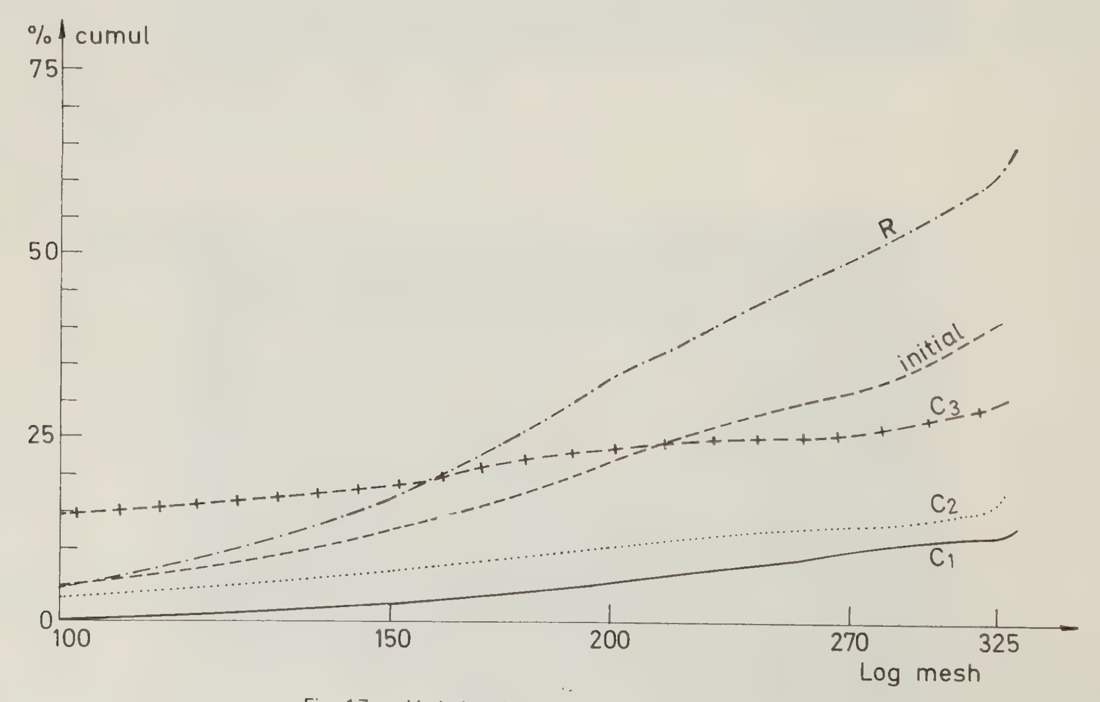


Fig. 17 — Variation de la répartition granulométrique suivant les différents concentrés

4.3. *La flottation*

4.3.1. *Mode opératoire :*

Broyage : 20 min.
Conditionnement : 15 min.
Moussant : huile de pin.
Rebroyage éventuel du rejet : 6 min.

Essai A
Citrex 11 : 2 fois 0,75 kg/t.
La teneur en Sn du concentré se situe vers 2,7 % et la récupération vers 20,3 %.
Traitement du rejet : Citrex 11, 2 fois 0,75 kg/t.
La teneur en Sn du concentré se situe vers 3,3 % et la récupération globale vers 65,4 %.

Essai B
Pétronate : 2 fois 1 kg/t.
Na_2SiO_3 : 0,5 kg/t.
La teneur en Sn du concentré se situe vers 3,35 % et la récupération vers 22,6 %.
Traitement du rejet :
Pétronate : 2 fois 0,5 kg/t
Na_2SiO_3 : 0,5 kg/t.
Teneur en Sn du concentré : 3,1 %.
Récupération globale : 90,1 %.

Essai C
Citrex 11 : 2 fois 0,5 kg/t.
Pétronate : 2 fois 0,5 kg/t.
Na_2SiO_3 : 0,4 kg/t.
Teneur en Sn : 3,1 %.
Récupération : 49,6 %.

Essai D
Citrex 11 : 2 fois 0,5 kg/t.
Teneur en Sn : 2,7 %.
Récupération : 13,4 %.

Essai E
Pétronate : 2 fois 1,5 kg/t.
Citrex 11 : 2 fois 1,5 kg/t.
Na_2SiO_3 : 0,2 kg/t.
HAc : 0,1 kg/t.
Teneur en Sn : 2,2 %.
Récupération : 27 %.

Essai F
Citrex 11 : 2 fois 1,5 kg/t.
Na_2SiO_3 : 0,2 kg/t.
HAc : 0,1 kg/t.
Teneur en Sn : 2 %.
Récupération : 23 %.

Essai G
Pétronate : 2 fois 0,5 kg/t.
Citrex 11 : 2 fois 0,5 kg/t.
Na_2SiO_3 : 0,2 kg/t.
$Na_4P_2O_7$: 1 kg/t.
Teneur en Sn : 1,8 %.
Récupération : 48,37 %.

Essai H
Citrex 11 : 0,25 kg/t.
Teneur en Sn : 3,15 %.
Récupération : 22,4 %.

4.3.2. *Observations*

Lorsque nous comparons cette série d'essais, nous constatons une teneur en étain souvent plus élevée dans le C_2 que dans le C_1. Nous attribuons cette anomalie à deux causes :

a) Les grains de cassitérite et du minerai en général sont recouverts par de très fines particules qui empêchent mécaniquement la collection. C'est pourquoi un débourbage est toujours conseillé (11). Celui effectué lors de ces essais n'était pas suffisant. En effet, nous n'avons ôté que les très fines particules qui restent en suspension dans le liquide après un temps de sédimentation assez long et ce, dans le but de perdre le moins possible de cassitérite. Nous n'avons pas réalisé un réel lavage du minerai. De ce fait, la première flottation réalise le débourbage. Une partie importante des fines particules est entraînée et déborde. Cependant, il n'y a pas collection sélective. Les grains de cassitérite ne sont donc plus obturés et le C_2 peut être plus riche. De plus, le débourbage permet une utilisation normale du collecteur qui n'est pas perdu inutilement avec les fines.
b) Les grains de cassitérite qui ne sont pas obturés par des fines ne sont conditionnés que pendant 15 minutes. Lors de la deuxième flottation, les grains ont été conditionnés pendant plus de 30 minutes (2 fois 15 min plus le temps d'effectuer la flottation 2,5 min environ) et, de ce fait, la collection est supérieure. Le deuxième effet est donc un effet cinétique.

Ces deux remarques nous conduisent à effectuer, lors de nos flottations ultérieures, un troisième concentré. Nous réaliserons également des flottations après un débourbage plus efficace au risque de perdre du minerai dans les fines.

Examinons à présent les réactifs utilisés lors de ces flottations. Dans le cas de la flottation avec comme collecteur le Citrex 11, les résultats obtenus montrent un enrichissement faible dans les conditions où nous travaillons. Le mélange Pétronate-Citrex donne des résultats légèrement supérieurs. On sait que le Pétronate est un puissant collecteur du fer. Le collecteur recueille les oxydes de fer, mais aussi les oxydes d'autres métaux. A priori, sa sélectivité sera moins grande que celle du Citrex. Cependant, pour améliorer celle-ci, nous avons testé certains réactifs tels que l'acide oxalique utilisé comme agent de conditionne-

ment. Cet acide complexe le fer ; on peut espérer alors une dépression du fer. Ce traitement est d'ailleurs recommandé par certains auteurs.

Nous avons utilisé également le silicate sodique pour déprimer la silice et disperser les fines, mais sans déprimer la cassitérite. Les réactifs en quantité de l'ordre de 0,2 kg/t remplissent leur rôle ; cela contribue à enrichir le concentré 1 vis-à-vis du concentré 2.

Nous avons également testé l'utilisation d'eau déminéralisée pour juger l'importance de la dureté de l'eau. Les changements observés sont relativement faibles : les quantités flottées augmentent légèrement au profit de la récupération et au détriment de la teneur des concentrés.

Nous avons effectué également deux flottations avec retraitement des rejets. Après un broyage bref des rejets pour créer des surfaces fraîches, libres de collecteur et pour augmenter la libération (cfr. paragraphe 43), nous observons que les quantités flottées sont pondéralement importantes et la teneur des concentrés moyennement élevée. Le broyage effectué a été peu important, il n'a presque pas créé de fines et les surfaces fraîches reçoivent du collecteur. De plus, les grains recouverts de collecteur, mais qui n'ont pas flotté par manque de libération, peuvent maintenant passer dans le concentré. Ces deux facteurs — granulométrie et collecteur — expliquent la réussite du procédé au point de vue épuisement du rejet.

4.3.3. *Essais de quelques réactifs déprimants de la gangue*

Mode opératoire :
- 500 g de minerai broyés pendant 13 min.
- Répartition en échantillons de 100 g.
- Conditionnement : 10 min.
- Réglage du pH par HCl ou CaO.
- Moussant MIBC : 1 goutte.

Réactifs :
- Collecteur Citrex 11 : 1000 g/t pour C_1
  500 g/t pour C_2
- Déprimants : Na_2CO_3 : 500 g/t pour C_1
  Na_2SiO_3 : 500 g/t pour C_1.

Essai 1. pH 11.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	10	2,10	21,10	10,65
C_2	8,5	2,70	23	11,85
R	80,5	1,90	163	77,80
			197,10	

Essai 2. pH 9.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	6	1,65	9,90	5
C_2	8	2,00	16	8
R	86	1,90	163,40	87
			189,30	

Essai 3. pH 8.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	5	1,90	9,50	4,80
C_2	14,5	1,90	27,50	13,80
R	81	2	162	81,40
			199,0	

Essai 4. pH 6.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	5	2,70	13,50	7
C_2	14	3,70	51,90	26,80
R	80	1,60	128	66,20
			193,40	

Essai 5. pH 4.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	7	2,20	15,40	8,12
C_2	11,5	3,10	35,65	18,80
R	87,5	1,70	138,55	73,10
			189,60	

Essai 6. pH 2.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	5	1,40	7	3,70
C_2	9	1,75	15,75	8,30
R	85	1,95	165,75	88
			188,50	

Essai 7. pH 4. (Idem essai 5, sauf Citrex 11 à 250 g/t pour C_1 — pas de déprimant 250 g/t pour C_2)

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	9	1,90	13,30	7,14
C_2	13,5	2,50	33,75	20,65
R	66,5	1,75	116,35	71,21
			163,40	

Essai 8. pH 11. (idem essai 1, sauf pas de Na_2CO_3 - Na_2SiO_3)

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	12,5	2,30	28,70	15,30
C_2	23,5	2,10	49,40	26,30
R	61	1,80	109,80	58,40
			187,90	

4.3.4. *Remarques*

Si nous portons sur un graphique (fig. 18) avec en ordonnée (100 — x) % étain du rejet et en abscisse le pH, nous constatons que nous obtenons une courbe analogue à celle obtenue au chapitre 3, mais elle se situe à un niveau d'ordonnée plus bas. Ce point est d'ailleurs confirmé par les expériences 7 et 8. En comparant les expériences 1 et 8 où le seul facteur modifié est la quantité du déprimant, on observe que les quantités flottées sont beaucoup plus faibles dans le cas 1. Elles varient du simple au double (18 à 36 g). Quant aux teneurs, elles sont légèrement plus favorables dans le cas 1. Cela veut dire que la gangue et la cassitérite sont déprimées ensemble. L'utilisation du silicate ou carbonate de soude en quantité de l'ordre de 1 kg/t est à proscrire. La comparaison des essais 7 et 5 montre que l'emploi de grosses quantités de collecteurs n'est guère utile. Une quantité de l'ordre de 250 g/t par concentré semble déjà suffisante. Comme précédemment, nous pouvons constater l'enrichissement supérieur du C_2 vis-à-vis du C_1. Les résultats montrent qu'un enrichissement marqué de la cassitérite est difficile à obtenir vu le manque de sélectivité des réactifs utilisés.

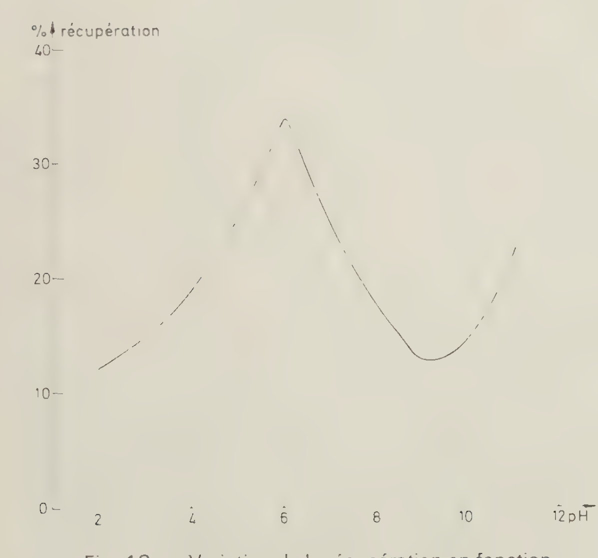


Fig. 18 — Variation de la récupération en fonction du pH en présence de déprimants

4.3.5. *Le Québracho et Aeropromoter 633*

Mode opératoire :

soit 500 g de minerai broyé pendant 13 min et réparti en échantillons de 100 g.
Conditionnement : 10 min - Moussant MIBC : une goutte.
Réglage du pH HCl ou NaOH
C_1 : Citrex 11 250 g/t
Québracho 100 g/t
C_2 : Citrex 11 250 g/t
C_3 : Citrex 11 250 g/t.

Essai 9. pH 2,8.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	4	1,5	6	3
C_2	6	1,5	9	4,5
R	90	2,0	180	92,5

Essai 10. pH 5.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	5	2,1	10,5	6,8
C_2	6	2,1	13,1	8,5
C_3	7	2,7	18,9	12,3
R	74	1,5	111	72,4
			153,5	

Essai 11. pH 7,5.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	5	0,5	2,5	1,4
C_2	5	0,5	2,5	1,4
C_3	5	0,8	2,5	1,4
R	76	2,2	167	95,8
			174,5	

Essai 12. pH 9,5.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	6	0,6	3,6	2
C_2	5	1,8	9	4,9
C_3	5	2,3	11,5	6,3
R	88	1,8	158,4	86,8
			182,5	

Essai 13. pH 12.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	2	1,5	3	1,5
C_2	4	1,5	6	3,5
C	12	1,5	18	9
R	84	2	168	86
			195	

Essai 14. pH 4,5.
Mode opératoire identique sauf Québracho.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	2	1,8	3,6	1,9
C_2	3	1,8	5,4	2,8
C_3	4	1,9	7,6	4
R	91	1,9	172,9	91,3
			189,5	

Essai 15. pH 4,5.
Conditionnement : 10 min.
C_1 120 g/t Citrex 11
Aéropromoter 633 : 25 g/t
C_2 120 g/t Citrex 11

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	3	1,9	5,7	2,9
C_2	5	1,7	8,5	4,4
R	94	1,9	176,6	92,5
			190,8	

4.3.6. *Observations*

Nous remarquons que le Québrancho, à l'instar du silicate et du carbonate sodique, déprime également la cassitérite. C'est un déprimant puissant de la cassitérite. L'allure de la courbe (fig. 19) est identique à celle observée à la figure 18. Le rejet est riche en étain ; dans certains cas, on a même un enrichissement de ce dernier. Les concentrés obtenus ont de faibles poids et de faibles teneurs. Même utilisé en très faible teneur, le Québracho est totalement à déconseiller. Les concentrés 2 et 3 sont au moins aussi riches que le concentré 1. Vu les mauvais résultats obtenus avec le Québracho, nous avons testé l'Aéropromoter 633, au pH de meilleur flottation.

Pour l'Aeropromoter 633, nous pouvons tirer les mêmes conclusions que pour le Quebracho.

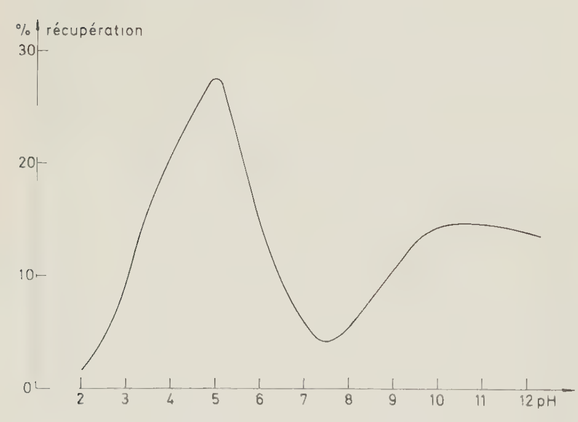


Fig. 19 — Variation de la récupération en fonction du pH en présence de Quebracho

4.3.7. *Essais de collecteurs*

Essai 16. pH 5.
Mode opératoire - Conditionnement : 30 min.
Réactifs : C_1 : 50 g/t KEX
50 g/t Alizarine
C_2 : Acide oléique 100 g/t
Na_2SiO_3 500 g/t

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	7	2,6	18,2	9,8
C_2	4	2,8	11,2	6,6
C_3	5	1,7	8,5	4,6
R	82	1,8	147,6	80,6
			185,5	

Etude du Citrex 33.
Mode opératoire 100 g de minerai.
Conditionnement : 15 min.
C_1 Citrex 33 250 g/t
$NaSiO_3$ 250 g/t
C_2 Citrex 33 250 g/t
C_3 Citrex 33 250 g/t.

Essai 17. pH 2.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	6	1,9	11,4	6,6
C_2	7	2,1	14,7	8,5
C_3	7	2,1	14,7	8,5
R	73	1,8	131,4	76,4
			172,2	

Essai 18. pH 4,75.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	34	0,8	77,2	43,4
C_2	16	1,5	24,0	21,0
C_3	17	4,6	78,2	22,4
R	10	1,8	18,0	13,2
	77		197,4	

Essai 19. pH 8.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	13	2,1	27,3	14,3
C_2	21	1,8	37,8	19,7
C_3	12	1,7	20,4	10,6
R	53	2,0	106,0	88,4
			191,5	

Essai 20. pH 11.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	3	18,4	55,2	11,5
C_2	2,9	16,7	48,4	10,1
C_3	3,6	24,5	88,2	18,4
R	3,6	80,1	288,4	60,1
			480,2	

Essai 21. pH5. mais conditionnement 30 min.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	10	2,0	20,0	12,2
C_2	16	2,7	43,2	26,4
C_3	16	1,8	25,6	15,6
R	44	1,7	74,8	45,8
	86		169,6	

Essai 22. idem essai 21.
Mais Citrex 33 : 1 kg/t.
Na_2SiO_3 : 0,5 kg/t.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	25	1,80	45,00	25,0
C_2	19	4,15	78,85	43,8
C_3	10	2,00	20,00	11,1
R	45	0,80	36,00	20,1
			179,85	

Etude du Citrex 1.
Mode opératoire - Conditionnement 15 min.
Réactifs : C_1 : 250 g/t Citrex 1
250 g/t Na_2SiO_3
C_2 : 250 g/t Citrex 1
C_3 : 250 g/t Citrex 1

Essai 23. pH 2.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	3	2,0	6,0	3,0
C_2	6	2,8	16,8	8,6
C_3	12	2,9	34,8	17,9
R	76	1,9	136,8	70,5

Essai 24. pH 5.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	6	3,3	10,3	7,6
C_2	8	2,4	19,2	14,2
R	62	1,7	105,1	78,2

Essai 25. pH 8.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	12	2,1	25,2	11,8
C_2	12	2,1	25,2	11,8
C_3	7	2,1	14,7	6,9
C_4	3	2,1	6,3	2,9
R	83	1,8	141,9	66,4

Essai 26. pH 8.
Conditionnement une minute.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1,	5	3,1	15,5	7,6
C_2	12	4,4	52,8	25,8
C_3	8	5,2	41,6	30,4
C_4	3	5,1	15,3	7,6
R	72	1,1	79,2	38,8

Essai 27. pH 4,5.
Mode opératoire : Collecteur mélange
1/3 Citrex 1 - 1/3 Citrex 11 - 1/3 Citrex 33
C_1 : 250 g/t collecteur
250 g/t Na_2SiO_3
C_2 : 250 g/t collecteur
C_3 : 250 g/t collecteur

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	4	1,35	5,40	3,0
C_2	14	3,10	43,40	25,5
C_3	8,5	2,50	21,25	12,5
R	69	1,43	100,05	59,0

4.4. *Traitement des rejets*

4.4.1. *Mode opératoire*

Rebroyage 6 min 30 s.
C_1 : 350 g/t Citrex 33.
C_2 : 350 g/t Citrex 33.
C_3 : 350 g/t Citrex 33.
Conditionnement 45 min.

Essai 28. pH 5.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	19,0	2,50	47,50	25,30
C_2	11,0	4,50	49,50	26,40
C_3	11,0	4,50	44,00	23,50
C_4	6,0	3,50	21,00	11,20
R	51,0	0,50	25,50	13,60

Essai 29.

Mode opératoire : idem Citrex 1.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	20,5	2,40	49,20	27,30
C_2	17,5	2,40	42,00	23,20
C_3	9,0	2,70	24,30	13,45
R	50,0	1,30	65,00	36,05

Essai 30.

Mode opératoire : idem sauf Citrex 11.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	16,0	2,10	33,60	17,60
C_2	12,0	2,70	32,40	16,90
C_3	6,5	3,20	20,80	10,90
C_4	11,0	3,00	33,00	17,30
R	49,0	1,25	61,25	47,30

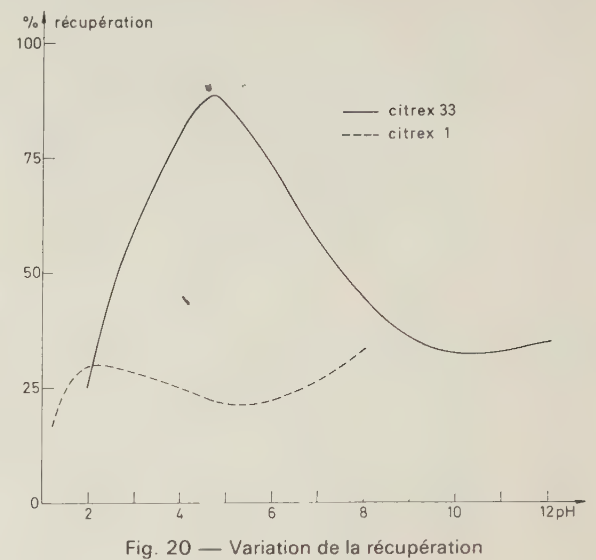


Fig. 20 — Variation de la récupération en fonction du pH et du collecteur

Après avoir testé différents paramètres de la flottation, nous avons modifié un facteur très important : le collecteur. En effet, l'étude du collecteur Citrex 11 a révélé un manque de sélectivité dans le cas de minerais complexes du type que nous avons examiné. On observe une collection des minéraux métalliques et même un entraînement de la silice.

L'examen de la flottation à l'acide oléique montre les faibles possibilités de ce collecteur. En effet, il n'est capable que de fournir un préconcentré. Les résultats peuvent être les suivants après recyclage (12). Pour un minerai de Catavi (Bolivie) à gangue sulfurée, on obtient des concentrés à 10 % en étain et une récupération de 80 à 90 %. Pour obtenir un concentré riche, on doit utiliser la flottation inverse (flottation de la gangue). Le « rejet » peut alors contenir 50 % d'étain et la récupération monter à 75 %. Cette méthode peu rationnelle est économiquement nécessaire car Lapointe a montré que l'acide oléique est partiellement adsorbé sur le quartz et les silicates. Un traitement thermique entre le préconcentré et le concentré est nécessaire pour désorber le collecteur et permettre la collection du quartz et des autres minéraux de la gangue par un collecteur aminé. Comme le Citrex 11, l'acide oléique collecte les minéraux métalliques et également un peu de silice. L'enrichissement direct des concentrés est impossible.

L'examen de la flottation au Citrex 33 montre (fig. 20) que, comme dans les cas précédents, le pH optimal se situe vers pH 4,5 - 5. Pour les pH basiques, la remontée de la courbe ne s'amorce que faiblement vers le pH 12. A ces pH, la cassitérite n'est pas déprimée, mais le collecteur n'est plus sélectif, il entraîne la gangue également. Si nous utilisons le pH 4,5 - 5, nous observons une flottation assez semblable à celle du Citrex 11 avec peut-être un peu plus de sélectivité pour le Citrex 33. Une légère amélioration est également obtenue si nous utilisons de grosses quantités de collecteur et de réactifs déprimants. Si nous considérons le Citrex 1, nous tirons des conclusions semblables à celles du Citrex 11 et 33, mais en observant que les résultats sont inférieurs. Le mélange Citrex 1, 11, 33 donne des résultats peu remarquables. Il est clair que le comportement semblable des trois collecteurs de la même famille est prévisible et logique. La sélectivité de ces collecteurs vis-à-vis de l'étain dépend au second ordre du réglage du caractère hydrophile-hydrophobe des collecteurs. Le type du collecteur importe au premier ordre et ne diffère pas ici.

Le retraitement des rejets classifie plus nettement les trois collecteurs. Le plus sélectif est le Citrex 33, puis viennent le Citrex 11 et enfin le Citrex 1. En fait le Citrex 11 et le Citrex 1 sont fort proches. Une fois de plus, nous observons de meilleurs résultats lors de ce retraitement par rapport au traitement direct. La cause : absence de fines et ses conséquences : effet mécanique et consommation de collecteur.

4.5. *Traitement des concentrés*

Nous allons tenter la reconcentration des concentrés en vue de l'obtention de concentrés marchands. Le problème est important car il est le facteur limitatif pour l'utilisation de la flottation pour la cassitérite. Pour cela, nous avons classé le minerai en trois catégories : les grosses et lourdes, les moyennes, les fines et légères. L'analyse granulométrique avant séparation est représentée à la figure 21 (à comparer avec la fig. 17).

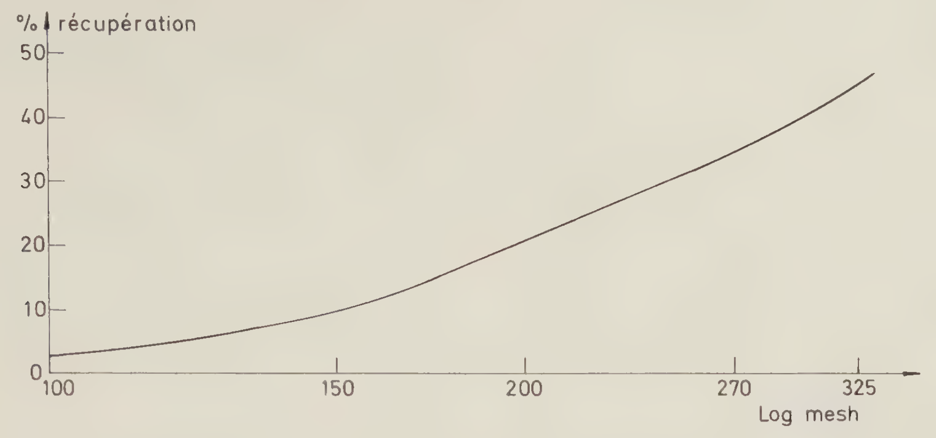


Fig. 21 — Répartition granulométrique avant séparation

La répartition est la suivante :

grosses	966 g	7,6 % Sn	9,94 % Fe
moyennes	3343	0,9	6
fines	1191	0,9	8,1

On dispose ainsi de trois alimentations de granulométrie différente de minerai réel.

4.5.1. *Traitement des grosses*

Pour amener le minerai à bonne granulométrie, nous broyons 10 min.

Mode opératoire :
Conditionnement 4 heures.
pH 5.
Réactifs C_1 250 g/t Citrex 1.
C_2 250 g/t Citrex 1.
C_3 250 g/t Citrex 1.

Essai 31.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	48,9	4,9	239,6	4,3
C_2	32,8	5,0	164,0	3,0
C_3	273,2	7,8	2131,0	38,5
C_4	97,6	8,3	810,1	14,6
R	447,9	4,9	2194,7	39,6

Recyclage de C_3 :
Conditionnement 1 heure.
pH 4.
Réactifs C_1 250 g/t Citrex 33.
C_2 250 g/t Citrex 33.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	12,7	10,7	1360	14,1
C_2	17,0	8,6	1460	15,1
C_3	23,0	8,0	1840	19,1
C_4	15,0	7,7	1150	11,9
R	69,9	5,5	3840	39,8

4.5.2. *Traitement des fines*

Mode opératoire :
Conditionnement 2 heures.
pH 5.
Réactifs :
C_1 350 g/t Citrex 33.
250 g/t Na_2SiO_3.
C_2 350 g/t Citrex 33.
C_3 350 g/t Citrex 33.

Essai 32.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %	Fer %
C_1	390	1,1	4140	42,3	.8,90
C_2	100	1,4	1360	13,9	11,10
C_3	110	1,8	2010	20,5	11,00
C_4	60	1,4	0850	8,7	10,75
R	305	0,5	1430	14,6	4,60

Recyclage de C_2 :
Conditionnement 45 min.
pH 5.
Réactifs : C_1 350 g/t Citrex 33.
C_2 350 g/t Citrex 33.
C_3 350 g/t Citrex 33.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	10,5	1,4	149	15,7
C_2	10,5	1,4	149	15,7
C_3	12,0	1,5	176	18,5
C_4	8,9	1,2	105	11,1
R	34,8	1,1	369	38,9

Recyclage C_3 :
Conditionnement 1 heure.
pH 4.

Réactifs : C_1 350 g/t Citrex 33.
C_2 350 g/t Citrex 33.
C_3 350 g/t Citrex 33.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	15,6	2,1	330	20,5
C_2	11,9	2,1	250	15,5
C_3	13,0	1,9	250	15,5
R	61,1	1,3	780	48,5

4.5.3. *Traitement des moyennes*

Mode opératoire :
Conditionnement 2 heures.
pH 5.
Réactifs : C_1 250 g/t Citrex 33.
C_2 250 g/t Citrex 33.
C_3 250 g/t Citrex 33.

Essai 33.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	88,0	1,50	1320	17,3
C_2	170,5	2,30	3920	51,4
C_3	164,1	1,25	2040	26,8
R	567,9	6,10	0570	4,5

Recyclage de C_2 :
Conditionnement 45 min.
pH 3.
Réactifs : C_1 Na_2SiO_3 100 g/t.
C_2 Citrex 33 100 g/t.
C_3 Citrex 33 100 g/t.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %	
C_1	37,5	4,2	157	39,85	
C_2	30,4	4,1	125	31,73	C_3
20,2	2,7	55	13,96		
C_4	17,8	1,4	250	6,34	
R	64,6	6,9	320	8,20	

Essai 34.
Mode opératoire : 100 g de minerai 718 moyen lixivié par HAc, solution à 10 %, 100 cc, deux fois pendant une heure.
Conditionnement : une heure.
pH 4.
Réactifs : C_1 250 g/t Citrex 33.
C_2 250 g/t Citrex 33.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %	Fer %
C_1	11,5	3,5	4250	41,7	7,25
C_2	14,2	1,8	2550	77,9	4,90
C_3	2,1	2,8	580	66,9	7,00
R	66,8	0,5	334	23,5	2,90

Essai 35.
Un kg de minerai 718 moyen lixivié 1 h 30 avec un litre HAc.
Conditionnement : 3 heures.
pH 4.
Réactifs : C_1 250 g/t Citrex 33.
C_2 250 g/t Citrex 33.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	27,0	2,24	605	7,5
C_2	43,2	2,77	1196	14,9
C_3	107,8	1,89	2037	25,0
R	831,2	0,50	4156	52,6

N.B. Le lavage du HAc n'est pas parfait.

Essai 36.
600 g de minerai 717 : c'est un minerai de Kaïlo (Zaïre) rejet de la concentration gravimétrique.
Teneur : Sn 1,65 %
Fe 7,70 %
Mode opératoire : Débourbage.
Conditionnement : 1 heure.
pH 4.
Réactifs : JC_1 250 g%t Citrex 11.
C_2 250 g/t Citrex 11.
C_3 250 g/t Citrex 11.

	Poids g	Sn %	Poids Sn mg	Rép. Sn %
C_1	58,8	3,1	182	17,8
C_2	101,1	3,5	353	34,5
C_3	49,8	3,8	189	18,5
C_4	31,5	2,8	83	8,1
R	360,3	0,6	216	21,1

Remarques

Aux teneurs les plus faibles, l'enrichissement est relativement aisé lors d'un nouveau passage. Ce recyclage permet une augmentation de teneur intéressante. Cependant, le retraitement des fines est plus délicat à réaliser. L'importance de la granulométrie est soulignée ici une fois encore. Si le surbroyage est toujours à éviter, il est dans le cas de la cassitérite encore plus à réprouver.

Le traitement des grosses montre une anomalie a priori : l'enrichissement progressif des concentrés de 1 à 4. Mais ce fait s'explique parfaitement si l'on tient compte de deux éléments : le rebroyage et le long conditionnement ont recréé des fines. Ce phénomène disparaît d'ailleurs lors du retraitement du concentré C_3. Dans ce cas, on retrouve la logique habituelle de la flottation, c'est-à-dire des concentrés dont la teneur diminue progressivement.

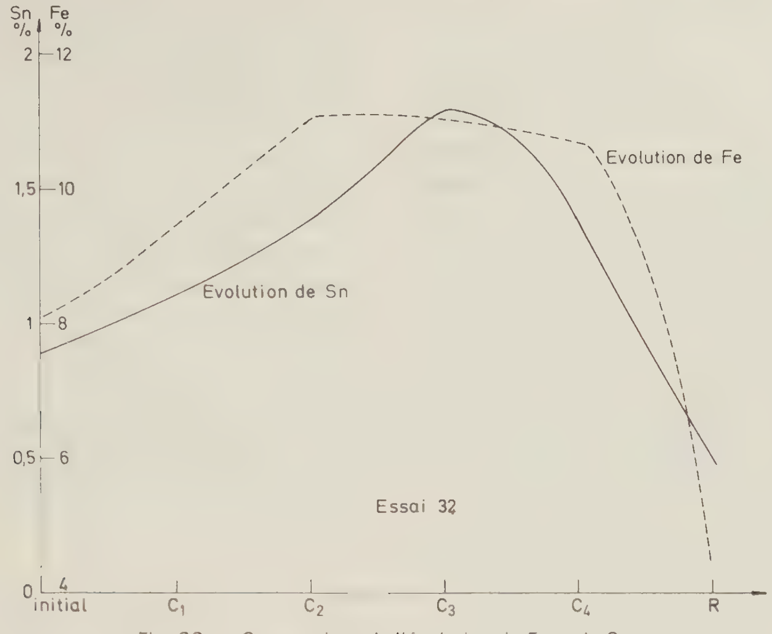


Fig. 22 — Comparaison de l'évolution du Fe et du Sn

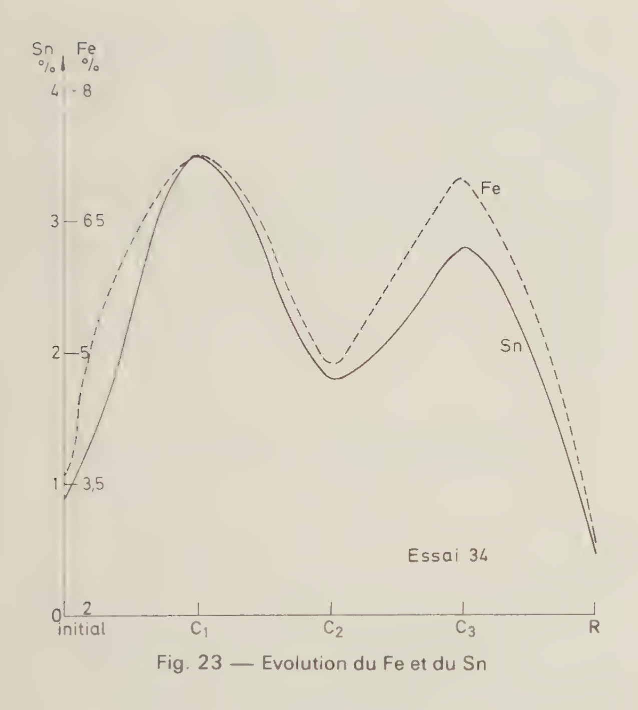


Fig. 23 — Evolution du Fe et du Sn

Un fait important à remarquer est l'enrichissement en fer dans les concentrés (essais 32 et 34). Le fer suit remarquablement l'étain. La figure 22 confirme évidemment le manque de sélectivité du Citrex ; cependant, il faut également tenir compte des inclusions de fer dans la cassitérite et du pourcentage d'oxyde de fer. En effet, en supposant que le fer soit totalement sous forme hématite, le rapport hématite-cassitérite représente environ 3,8. Il est normal que l'enrichissement en fer soit important. Ces deux remarques montrent qu'une séparation fer-étain totale sera impossible par une méthode non métallurgique ou chimique. Ces circonstances nous ont conduits à tenter la lixiviation sélective partielle du fer par l'acide acétique. Cet acide laisse intacte la cassitérite. La lixiviation du minerai et les relavages du minerai entraînent la disparition des fines particules et au moins de l'oxyde de fer superficiel. Les résultats de l'expérience 34 montrent que l'enrichissement est important et l'épuisement du minerai valable et ce, en une seule opération. Le résultat de l'opération est assurément favorable, mais un relavage soigné est nécessaire sinon le bénéfice de l'opération est moindre (cf. expérience 3.5.). En comparant les figures 22 et 23, on remarque la teneur élevée du C_1 et du C_3 de l'essai 34 par rapport à l'essai 32. Il faut noter que, pour le C_3, nous avons pris seulement 2,1 g alors que pour le C_1, C_2 le concentré prescrit plus de 10 g, soit plus de 10 %. Lors de l'essai 32, le C_1 représentait près de 40 % du total de l'échantillon.

La lixiviation élimine les fins grains d'oxyde de fer, ainsi que l'oxyde superficiel. Le rapport oxyde de fer/cassitérite passe de 7 à 2,4 dans le concentré (essai 32 et 34). Cette diminution de la concurrence fer-étain permet de supprimer au moins un stade de concentration à l'ébauchage. En résumé, on peut affirmer que le Citrex collecte la cassitérite mais aussi les oxydes métalliques, mais avec peu de sélectivité. En effet, une partie de la gangue est collectée tout comme dans le cas de l'acide oléique.

Pour terminer, nous avons testé le Citrex 11 sur le minerai de Kailo (expérience 36) que nous possédions également. C'est un rejet de concentration gravimétrique. Après un débourbage soigné, nous obtenons des résultats analogues à ceux obtenus avec le minerai habituel.

5. CONCLUSIONS

Les essais effectués nous permettent de dégager les points importants de la flottation de la cassitérite.

En premier lieu, les essais au tube de Hallimond permettent d'établir les zones de flottabilité de la cassitérite pure. On constate que le pH de meilleure flottation se situe vers 4-5, bien que certains réactifs collectent presque aussi bien la cassitérite dans une large zone de pH.

En second lieu, les essais en petite cellule nous renseignent sur le broyage, l'étalement granulométrique et les quantités de réactifs. L'étude de la flottation différentielle sur un minerai synthétique montre la difficulté d'emploi des réactifs adjuvants et déprimants, tel le silicate sodique.

Si l'on effectue une flottation préliminaire (cas des minerais à gangue contenant des sulfures), on peut obtenir et une récupération très élevée et des teneurs suffisantes alors que la perte en étain n'est que de 1 % dans le premier concentré.

Si nous considérons un minerai riche, il n'est guère aisé d'obtenir un enrichissement et une récupération importants.

Quant au minerai synthétique à faible et très faible teneur, nous obtenons une récupération très élevée et un coefficient d'amplification relativement élevé.

En troisième lieu, nous avons effectué des essais sur minerai réel. Ceux-ci nous ont permis de dégager les principales difficultés.

La première est celle du broyage ; il faut obtenir la libération de la cassitérite sans cependant créer trop de fines.

La deuxième est celle du manque de sélectivité des réactifs ; les réactifs déprimants sont ici d'emploi délicat car, s'ils dépriment la silice, ils dépriment également la cassitérite. Les réactifs collecteurs ne sont pas assez spécifiques de la cassitérite et l'on observe la concurrence *oxyde de fer - cassitérite* ; surtout si l'on considère le rapport

$$\frac{\text{nombre de môles de } Fe_2O_3}{\text{nombre de môles de } SnO_2} = 3{,}1$$

dans notre cas.

La lixiviation des oxydes de fer par l'acide acétique est une voie non négligeable mais coûteuse ; elle implique un lavage soigné afin d'éliminer toute trace d'acide acétique.

En quatrième lieu, nous avons vérifié nos résultats sur un minerai du même type et, en première analyse, nous constatons des conclusions similaires.

Nous avons étudié le problème des réactifs collecteurs mis à notre disposition pour flotter la cassitérite et avons constaté un manque de sélectivité qu'il est difficile d'éliminer.

De même, nous avons montré les problèmes que les trop fines particules de minerai créent. Ces remarques nous amènent à conclure à la nécessité de conduire le broyage avec attention et, lors de la flottation, à effectuer un grand nombre de relavages pour obtenir des concentrés à teneur moyenne. En conséquence, les efforts de recherches doivent être orientés vers les points suivants :

— Broyeur donnant peu de très fines particules
— Réactifs plus sélectifs
— Four métallurgique capable de traiter les concentrés à teneur moyenne.

Remerciements

Mes remerciements s'adressent à Monsieur R. COLLEE, Professeur à l'Université de Liège, qui m'a encouragé dans la réalisation de ce travail dont il a bien voulu relire le manuscrit.

Je désire associer à ces remerciements Messieurs F. DIMANCHE et G. HERBILLON, pour leur amical soutien, ainsi Mademoiselle J. BIESMANS, Messieurs G. DELCORPS et R. PAQUE, du laboratoire de chimie, pour l'aide qu'ils m'ont apportée à titres divers.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Metalli non Ferrosi E Ferroleghe. 1974. Edition Ammi.

[2] Dictionnaire des Métaux non ferreux. 1972. Edition Marabout.

[3] Mineral engineering and analytical development at Wheal Jane Ltd. Tenth International Mineral Processing Congress, London. 1973.

[4] Development and operation of cassiterite flotation at mines of the consolidated gold field groups. Ibidem.

[5] Theory and practice on the flotation of cassiterite fine. Ibidem.

[6] René Pirard. Concentration d'un minerai de Niobium. 1970.

[7] Claude Renard. Etude de la flottation de minerais oxydés par des collecteurs poly-anioniques. 1971.

[8] Hydroxamic acids as collectors in the flotation of Wolframite, Cassiterite and Pyrochlore. Tenth International Mineral Processing Congress. London. 1973.

[9] L. de Launay. Gîtes Minéraux et Métallifères.

[10] Engineering and Mining Journal. Juni 1971.

[11] Gaudin.

[12] Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. March 1967.

Sélection des fiches d'INIEX

INIEX publie régulièrement des fiches de documentation classées, relatives à l'industrie charbonnière et qui sont adressées notamment aux charbonnages belges. Une sélection de ces fiches paraît dans chaque livraison des Annales des Mines de Belgique.

Cette double parution répond à deux objectifs distincts :

a) *Constituer une documentation de fiches classées par objet,* à consulter uniquement lors d'une recherche déterminée. Il importe que les fiches proprement dites ne circulent pas ; elles risqueraient de s'égarer, de se souiller et de n'être plus disponibles en cas de besoin. Il convient de les conserver dans un meuble ad hoc et de ne pas les diffuser.

b) *Apporter régulièrement des informations groupées par objet,* donnant des vues sur toutes les nouveautés.

C'est à cet objectif que répond la sélection publiée dans chaque livraison.

A. GEOLOGIE — GISEMENTS PROSPECTION — SONDAGES

IND. **A 16** Fiche n. **65.648**

W.W. DUDLEY Jr. Hydrology — 1976 annual review. Hydrologie — revue annuelle 1976. **Mining Engineering.** 1977, février, p. 68/70. 1 fig.

Examen de ce qui a été fait pour empêcher la pollution des nappes aquifères par l'industrie minière. Enfouissement des schistes acides sous la nappe aquifère pour minimiser la production d'eau acide lors de la restauration d'un site d'une exploitation à ciel ouvert. Etablissement de cartes montrant les régions qui entraîneraient des dépenses élevées lors de la remise en culture des sols et qui devraient être évitées au début du développement de l'exploitation. Evaluation du potentiel de la nappe aquifère du groupe Madison pour différents états, l'eau étant destinée à l'industrie et à l'habitat. Contrôle du niveau de la nappe aquifère des grès du Navajo par un réseau de puits d'observation, suite à un projet de transport du charbon par pipeline. Etude de la nappe aquifère dans les charbons de Powder River suite à un projet de gazéification in situ du charbon à Campbell County (Wyoming). Proposition de lois établissant des normes pour la pollution de l'eau par des substances ou matières physiques, chimiques, biologiques ou radiologiques. Problème du bouchage ou du scellement des puits et des sondages pour empêcher toute contamination de l'eau; programme de recherche.

Biblio. : 4 réf.

IND. **A 40** Fiche n. **65.701**

X. Probing ahead for tunnels. *Reconnaissance en avant des front des tunnels.* **Tunnels and Tunnelling,** 1977, janvier-février, p. 51/55. 3 fig.

A un symposium organisé par la British Tunnelling Society, qui s'est tenu le 16 septembre 1976, discussion d'un rapport technique sur les moyens de reconnaissance des terrains en avant des fronts des tunnels. Examen du rapport dans lequel on envisage les moyens de reconnaissance par forage et les investigations géophysiques; pour ces dernières, il fut noté qu'il n'y avait aucune technique actuellement disponible pour les tunnels. Description de quelques expériences individuelles : méthode de réflexion sismique, forage en avant des fronts, enregistrement par des géophones placés en surface des bruits émis par une machine de creusement à attaque globale. Recherches de nouvelles méthodes.

IND. **A 40** Fiche n. **65.771**

C.E. WIER. Exploring coal deposits for surface mining. *Prospection des gisements de charbon pour l'exploitation à ciel ouvert.* — **Coal Exploration,** 1976, p. 540/561, 4 fig., 1 tabl.

Les 4 phases de la prospection des gisements de charbon à exploiter à ciel ouvert sont : 1. Recherches préliminaires : choix d'une zone, recherches bibliographiques, évaluation régionale. 2. Reconnaissance d'une zone favorable : obtention du maximum d'informations, consultation de cartes... 3. Prospection détaillée de la zone du projet : forage, examen des enregistrements géophysiques des sondages, échantillonnage, analyse... 4. Evaluation : corrélation des couches, établissement de cartes, calcul des réserves.

Biblio. : 6 réf.

IND. **A 47** Fiche n. **65.646**

L.T. LARSON. Geochemistry - 1976 annual review. Géochimie - revue annuelle 1976. — **Mining Engineering,** 1977, février, p. 57/63.

L'année 1976 aura été une année d'application et d'amélioration de la méthodologie et des techniques existantes plutôt que la recherche de nouvelles méthodes. L'objectif du programme de l'ERDA (Energy Research and Development Administration) et du NURE (National Uranium Resource Evaluation) est d'achever, pour 1980, une détermination systématique de l'uranium dans l'eau et les sédiments des rivières, lacs et puits et d'identifier les zones qui seront propices à une prospection de l'uranium. Les recherches du NURE ont été centrées sur les problèmes d'échantillonnage, des méthodes de détermination du pH, de la conductivité, des oxydes dissous, de la température, des techniques analytiques de laboratoire. Caractéristiques géochimiques des gisements de minerais porphyriques de cuivre. Importance de la granulométrie des sédiments des rivières pour la recherche de l'uranium, du pH... Exemples montrant l'intérêt des publications et des réunions concernant la recherche géochimique.

Biblio. : 37 réf.

B. ACCES AU GISEMENT METHODES D'EXPLOITATION

IND. **B 31** Fiche n. **65.700**

K.F. PEYFUSS. Construction of the Cuajone tunnels, Peru. *Construction des tunnels de Cuajone, Pérou.* — **Tunnels and Tunnelling,** 1977, janvier-Février, p. 31/35, 5 fig.

Description des travaux et des contrats concernant la construction de 5 tunnels ayant une longueur totale de 27 km et reliant 2 mines de cuivre (Pérou). Ces tunnels, de 38 m^2 de section utile, servent au transport par rails des concentrés provenant de la mine de Cuajone; en plus, installation dans les tunnels d'un pipeline de 864 mm de diamètre pour l'évacuation des rejets de l'installation de concentration de Cuajone. Etude des contrats et modifications apportées à ceux-ci notamment en ce qui concerne la section des tunnels où la forme en U inversé fut remplacée par une section en « fer à cheval » résistant mieux aux pressions de terrain; choix du matériel et utilisation de béton projeté. Discussion sur les réajustements des prix des contrats. Considérations sur les conditions géologiques rencontrées et le matériel d'excavation, soutènement...

IND. **B 31** Fiche n. **65.721**

A.G. PROVOST. Driving the Cunningham tunnel, Colorado, USA. *Creusement du tunnel Cunningham au Colorado, USA.* — **Tunnelling '76,** p. 165/176, 9 fig., 5 tabl.

Creusement d'un tunnel de petite section au Colorado, pour détourner 85.106 m^3 d'eau/an du Colorado River Basin vers l'Arkansas River Basin. Personnel total : 35 hommes travaillant 3 postes/jour et 6 jours par semaine. Conception du tunnel. Données géologiques. Installations diverses : atelier d'entretien, ventilation, air comprimé, pompes... Creusement par minage. Soutènement : boulonnage, béton projeté, cadres métalliques. Problèmes d'environnement et de sécurité. Rendements : avancement journalier moyen à ce jour : 11,9 m, meilleur avancement journalier : 21,3 m, meilleur avancement semaine : 101,8 m, meilleur avancement mensuel : 385,6 m.

IND. **B 31** Fiche n. **65.726**

P.B. ATTEWELL, I.W. FARMER et Coll. Measurements of ground lining interaction pressure in an underwater tunnel in coals measures rock. *Mesures des contraintes s'exerçant sur le soutènement d'un tunnel sous-marin en terrain carbonifère.* — **Tunnelling '76,** p. 255/263, 15 fig.

Le tunnel en siphon sous la rivière Tyne a 3,2 m de diamètre intérieur et est revêtu d'un soutènement en fonte (6 segments par anneau); il a été creusé dans le terrain houiller (grès, schistes, schistes argileux, charbon) et est situé environ 36 m sous le niveau moyen de l'eau. Deux sections du tunnel furent équipées d'instruments pour mesurer la répartition des pressions radiales sur le revêtement. Des piézomètres furent également placés pour déterminer la part due à la pression de l'eau dans les contraintes exercées sur le revêtement. Emplacement des appareils de mesure et traitement par ordinateur des résultats.

Biblio. : 22 réf.

IND. **B 39** Fiche n. **65.711**

S. JOHANSSON et R. LAHTINEN. Oil storage in rock caverns in Finland. *Stockage souterrain de pétrole en Finlande.* — **Tunnelling '76,** p. 41/58, 32 fig., 3 tabl.

Dès le début de 1960, on a entrepris en Finlande la construction de réservoirs souterrains. A ce jour, 10^6 m^3 de cavités souterraines, sans revêtement, ont été creusées et ce principalement dans les roches cristallines du Précambrien. Avantages du stockage souterrain en roches. Les principaux types de stockage souterrain. Etude géologique du site, planification des travaux et travail d'excavation proprement dit réalisé par minage (méthodes de minage, équipement utilisé, schéma de tir, transport des produits abattus...). Estimation du coût des travaux. Description de 3 réalisations de réservoirs souterrains à Nokia, Rauma et Porvo. Genre et capacité de stockage, types de roche, travail d'excavation, coûts.

Biblio. : 5 réf.

IND. **B 4110** Fiche n. **65.660**

P.C. MERRITT. Longwall mining. Avenue to safety, productivity and resource recovery. *L'exploitation par longue taille : en route vers la sécurité, la productivité et une récupération plus complète du charbon.* — **Coal Age,** 1977, janvier, p. 59/98. Nombr. fig. et tabl.

Ce long article est consacré aux longues tailles et montre l'intérêt des USA pour cette méthode d'exploitation. L'exploitation par longue taille s'est développée lentement aux USA depuis 20 ans, mais ce développement pourrait s'accélérer; on prévoit, pour 1985, que 15 % de la production souterraine proviendraient des longues tailles contre 4 % actuellement et que, vers la fin du siècle, cette méthode concurrencerait les mineurs continus. On montre les avantages à retirer des longues tailles au point de vue sécurité, productivité, taux de récupération du gisement, contrôle du toit et des affaissements de surface... On examine successivement différents sujets comme la sécurité et la santé, le potentiel d'exploitation par cette méthode du Midwest, la planification des longues tailles, l'exploitation des couches pentées de l'Ouest, les constructeurs de matériel minier, le halage sans chaîne.

IND. **B 4110** Fiche n. **65.661**

X. 1976 US Bureau of Mines census of operating American longwall installations. *Recensement de l'US Bureau of Mines des installations en service en 1976 dans les longues tailles américaines.* — **Coal Age,** 1977, janvier, p. 99/107.

On donne, pour les 72 longues tailles opérationnelles aux USA en 1976, le nom de la société et de la mine, la situation géographique, le nom de la couche et son ouverture, la longueur de la taille, l'épaisseur de la couverture, le type d'engin d'abattage et du convoyeur de taille, le type de soutènement marchant avec indication du nombre d'étançons de la pile et sa capacité en tonnes.

IND. **B 4110** Fiche n. **65.698**

J.T. PEAREY. The application of heavy duty equipment in American mines. *Utilisation d'équipements à productivité élevée dans les mines américaines.* — **The Mining Engineer,** 1977, mars, p. 309/322, 8 fig., 1 tabl.

Compte rendu d'un voyage de l'auteur aux USA où il a étudié le matériel à haute productivité utilisé dans les mines américaines. Pour chaque chantier, l'équipement a été partagé en 3 classes : convoyeur blindé de taille, abatteuse-chargeuse et soutènement marchant; caractéristiques du matériel utilisé et résultats obtenus. Un tableau résumant l'équipement employé dans les dix tailles visitées est annexé au rapport, il donne l'ouverture, la longueur et la production moyenne par poste et par semaine. On constate qu'en général, le matériel employé est plus puissant que le matériel standardisé du NCB. Les résultats obtenus avec ce matériel indiquent une bonne rentabilité malgré les frais d'investissements importants. En annexe, méthode de récupération du soutènement bouclier d'une taille.

Biblio. : 3 réf.

IND. **B 4112** Fiche n. **65.630**

G. WILKIN. High output longwall face Coalbrook Collieries South Africa. *Une longue taille à forte production au charbonnage Coalbrook en Afrique du Sud.* — **Colliery Guardian,** 1977, février, p. 101/104, 8 fig.

Rôle joué par le matériel Eickhoff dans le développement d'une exploitation par longue taille au charbonnage de Coalbrook. Le but était de prouver les avantages d'une exploitation par longue taille et de s'en servir comme installation pilote pour la formation des ingénieurs d'autres charbonnages. Description des conditions d'exploitation de la couche de 2,50 m d'ouverture moyenne et située à 200 m de profondeur; production prévue 7000 t/jour en 3 postes. Description et caractéristiques du matériel du chantier : haveuse-chargeuse à double tambour, type EDW-600 L; convoyeur de taille à chaîne centrale EKF 4; convoyeur-répartiteur EKF 4 et concasseur à marteaux; courroie transporteuse, soutènement de taille à piles boucliers Dowty à 4 étançons, équipement électrique.

IND. **B 54** Fiche n. **65.665**

R. GILLARD. Les carrières du Nord de la France. — **Industrie Minérale,** 1977, mars, p. 147/150, 4 fig.

Les départements du Nord et du Pas-de-Calais produisent 7,5 Mio.t/an de granulats, presque tous calcaires. L'auteur donne un schéma général de l'exploitation d'une carrière, abattage par mines verticales profondes (15 à 30 m), tir en général au nitrate fuel, chargement en camions, concassage primaire souvent semi-mobile, triage, concassage secondaire, transport par courroies et ensilage.
Résumé de la Revue.

IND. **B 62** Fiche n. **65.644**

D'ARCY A. SHOCK. Solution mining. *Exploitation par dissolution.* — **Mining Engineering,** 1977, février, p. 46/48, 1 fig.

Quelques renseignements sur l'exploitation par lixiviation des gisements d'uranium qui sont à la limite de rentabilité avec le prix actuel de ce minerai. Cette technique d'exploitation serait rentable pour des prix de l'U_3O_8 compris entre 20 et 25 $ par livre. Le forage des sondages représente 56% du prix total d'exploitation et du côté opérationnel les produits chimiques sont la plus grande dépense. Essais réalisés par la Wyoming Minerals dans le gisement de Bruni par lixiviation avec une solution de bicarbonate et de carbonate d'ammoniaque; la solution pompée avait une concentration en U_3O_8 de 300 ppm; exploitation près de Georges West, Texas par injection d'une solution alcaline. Autres domaines de recherche : récupération du cuivre dans les terrils par injection d'air, recherches industrielles pour comprendre le mécanisme de réaction de mise en solution de la chalcopyrite et de la chalcosite, emploi d'ammoniaque pour lixiviation in situ, méthodes possibles de lixiviation de minerais sulfureux de faible teneur... Problèmes de là pollution des eaux.

IND. **B 62** - 19 Fiche n. **65.691**

G. BjÖRLING. Die Laugung sulfidischer Kupfererze und Konzentrate. *La lixiviation des minerais sulfurés de cuivre et ses concentrés.* — **Erzmetall,** 1977, février, p. 39/43, 1 fig.

Avantages et inconvénients des méthodes humides comparées aux méthodes pyrométallurgiques. Le mécanisme de la réaction dans la lixiviation des sulfures de cuivre : réactions d'oxydation, réactions de réduction et de sulfuration. Les méthodes d'oxydation complète : réactions de désagrégation, lixiviation in situ, lixiviation des concentrés (solution neutre ou acide et solution à l'ammoniaque). Les méthodes d'oxydation sélectives : au moyen d'oxygène ou d'ions métalliques (en solution chlorurée, de sulfate et d'acide nitrique). Lixiviation sans oxydation. Méthodes en rapport avec le grillage.
Biblio. : 1 réf.

IND. **B 9** Fiche n. **65.652**

H.L. SNYDER et W. WINSOR. Mining technology for offshore hydrocarbon development. *Technologie minière pour le développement de gisements d'hydrocarbures offshore.* — **C.I.M. Bulletin,** 1977, février, p. 62/69, 10 fig., 4 tabl.

S'il était confirmé que le pétrole et le gaz se trouvent, en quantité exploitable économiquement, sur la plate-forme continentale de la Mer du Labrador, les techniques actuelles d'exploitation offshore ne conviendraient pas à cause des conditions climatiques très dures : tempêtes, icebergs. D'un autre côté, la pêche étant une activité très importante dans cette région, il faut une méthode d'exploitation qui ne provoque aucune pollution. Les exploitations minières de Bell Island et Cape Breton montrent qu'il serait possible d'exploiter sous la mer les hydrocarbures à partir d'excavation de chambre sous le plateau continental, par aménagement des techniques. On définit les problèmes particuliers à ce genre d'exploitation et on décrit les solutions possibles.
Biblio. : 20 réf.

C. ABATTAGE ET CHARGEMENT

IND. **C 2211** Fiche n. **65.727**

L. OTTOSSON et T.I. CAMERON. Hydraulic percussive rock drills, a proved concept in tunnelling. *Les foreuses à percussion hydraulique ont fait leurs preuves en creusement de tunnels.* — **Tunnelling' 76,** p. 277/285, 8 fig., 5 tabl.

Après avoir rappelé que les constructeurs considèrent les foreuses hydrauliques comme un équipement de complément, et non comme équipement de remplacement, aux foreuses pneumatiques, on examine rapidement pourquoi les foreuses hydrauliques ont des puissances et des vitesses de foration plus élevées que les foreuses pneumatiques. On étudie ensuite les caractéristiques de la foration hydraulique des points de vue économique, ergonomique et environnement. Exemples montrant l'emploi des foreuses à percussion hydraulique dans le creusement de tunnels : équipement utilisé, cycle de travail...

IND. **C 4230** Fiche n. **65.678**

R.A. CAIRNS. Five years of operating experience with 950 volt continuous miners. *Cinq années d'expérience avec les mineurs continus alimentés en 950 V.* — **Mining Congress Journal,** 1977, janvier, p. 54/58, 6 fig.

Depuis 1971, on utilise de plus en plus dans les mines souterraines de charbon, en Australie, des mineurs continus (et même des camions-navettes) alimentés en 950 V au lieu de 415 V. Il en est résulté une productivité accrue des chantiers et une diminution des frais d'entretien. Réglementation concernant l'emploi de l'électricité dans les travaux souterrains. Implantation des sous-stations 11000 ou 6000 V/950/415 V qui sont déplacées suivant la longueur du câble alimentant le mineur. Comparaison des câbles traînants d'alimentation des mineurs continus en 415 et 950 V; ces derniers sont de plus petit diamètre, plus légers et plus facilement manœuvrables; en outre, la chute de tension étant moindre, des câbles de plus grande longueur sont utilisés et les déplacements des sous-stations sont, en conséquences réduits. Autres avantages de l'alimentation en 950 V : moins de calage des moteurs, moins de courts-circuits dans les bobinages...; il y a donc une meilleure utilisation du mineur continu.

IND. **C 4230** Fiche n. **65.741**

J. STAUGHAN. Roadway drivages and drilling in coal mines. *Creusement des voies et travaux de forage dans les charbonnages.* — **Colliery Guardian,** 1977, mars, p. 149/156, 4 fig.

Description de différentes techniques de creusement employées dans les charbonnages britanniques et comparaison avec les mines des USA. Machines de creusement, type à chaîne et travaillant en couche : Continuous Miner Joy et Lee Norse, Dosco In-Seam Miner (hauteur minimum ~ 90 cm). Machines à bras avec tête rotative : Dosco Mark 2A Roadheader, Anderson Mavor, Boom Miner : caractéristiques de construction. Le tunnelier Thyssen FLP 35 utilisé au charbonnage Dawdon : paramètres de construction ayant été imposés par le NCB au constructeur. Diagramme de vitesse de foration suivant les techniques utilisées. Chargement des déblais en cas de forage et de minage : Anderson Mavor MC 3 A, chargeuses Eimco 612, 615 et 627. Les caractéristiques de la foreuse hydraulique Victor et son utilisation.

IND. **C 44** Fiche n. **65.688**

X. Machine de creusement de galerie à attaque ponctuelle « Salzgitter » placée sur un portique marchant. — **Charbonnages de France. Publications Techniques.** 1976, n° 6. **Fiche technique n° 21,** 3 p., 3 fig.

C'est une machine à attaque ponctuelle dont le bras télescopique est supporté par un portique permettant le passage d'une chargeuse. Cet arrangement permet de désolidariser l'abattage des roches en place du chargement des produits abattus. Le portique comporte à sa base un dispositif hydraulique marchant. Il progresse comme un « canard ». Cette machine convient pour des roches assez tendres de moins de 400 bars. Les dimensions du portique ont une influence directe sur la section creusée. Elles peuvent être modifiées légèrement. Caractéristiques géométriques de la machine, caractéristiques géométriques de la section creusée et autres caractéristiques.

IND. **C 44** Fiche n. **65.716**

B.M. NEW et J. TEMPORAL. Tunnelling machine data acquisition and processing system. *Enregistrement des paramètres de fonctionnement d'une machine de creusement à attaque globale et système de traitement.* — **Tunnelling' 76,** p. 103/111, 4 fig.

Description des équipements installés par le Transport and Road Research Laboratory à Chinnor, sur une machine de creusement de 5 m de diamètre dans le but d'enregistrer les performances de cette machine. Choix des paramètres : avance de la tête de coupe, vitesse de rotation, puissance fournie à la tête de coupe... Emplacement des capteurs, transmission des informations et enregistrement de celles-ci. Discussion de la valeur du système.

Biblio. : 5 réf.

IND. **C 44** Fiche n. **65.723**

E. JACOB. The bentonite shield : technology and initial application in Germany. *Le bouclier à la bentonite : technologie et première application en Allemagne.* — **Tunnelling' 76,** p. 201/207, 14 fig.

Le bouclier à la bentonite qui est décrit pourrait être mieux défini comme un bouclier avec un liquide assurant le soutènement des fronts du tunnel. Bref résumé des méthodes traditionnelles de soutènement des fronts dans le creusement au bouclier et des conditions exigées d'un bouclier à la bentonite. Description des systèmes britannique, allemand et japonais. Description du German Wayss & Freytag Hydroschild et application de ce bouclier pour le creusement des collecteurs des eaux d'égout de la ville de Hambourg.

IND. **C 44** Fiche n. **65.724**

T. WALSH et A.R. BIGGART. The bentonite tunnelling machine at Warrington. *Le tunnelier à la bentonite à Warrington.* — **Tunnelling' 76,** 209/218, 12 fig., 2 tabl.

Première utilisation commerciale d'un tunnelier à la bentonite au Royaume-Uni. Géologie de la région où un tunnel de 1370 m de longueur et de 2,44 m de diamètre intérieur a été creusé. Description du tunnelier qui, en creusement en roche dure, travaille sans bentonite et est équipé d'outils à disques; pour le creusement en sable et gravier, emploi de bentonite et le tunnelier est équipé de pics. Description du circuit de bentonite. Modifications apportées aux outils de coupe lors du creusement dans des blocs de roches ayant jusque 500 mm de diamètre.

IND. **C 44** Fiche n. **65.729**

R.J. FOWELL et I.McF. SMITH. Factors influencing the cutting performance of a selective tunnelling machine. *Facteurs influençant les performances d'une machine de creusement à attaque ponctuelle.* — **Tunnelling' 76,** p. 301/309, 11 fig., 5 tabl.

Pour obtenir une meilleure compréhension des facteurs opérationnels et géologiques qui influencent les performances d'une machine à attaque ponctuelle, des études de laboratoire et des essais in situ ont été réalisés. L'Université de Newcastle a étudié les performances d'une machine Dosco à attaque ponctuelle lors du creusement d'un traçage. On a enregistré la consommation d'énergie et le rendement de coupe au cours du creusement et on les a comparés aux propriétés des roches et du massif ainsi qu'aux caractéristiques de la machine.

Biblio. : 4 réf.

IND. **C 44** Fiche n. **65.736**

P.B. REES, H.M. HUGHES et Coll. Full-face tunnelling machines in British coal mines. *Machines de creusement à attaque globale dans les charbonnages britanniques.* — **Tunnelling' 76,** p. 413/422, 4 fig., 10 tabl.

Nécessité des machines de creusement. Expérimentation de différentes machines et mise au point par le NCB d'une machine à attaque globale construite par Thyssen G.B. Spécifications imposées à cette machine. Type F.L.P. 35 de 3,35 m de diamètre. Premiers essais et modifications apportées. Résultat des essais sur une longueur de 1000 m. Considérations économiques. Retrait de la machine; un nouveau creusement prévu pour mars-avril 1976.

Biblio. : 4 réf.

D. PRESSIONS ET MOUVEMENTS DE TERRAINS — SOUTENEMENT

IND. **D 10** Fiche n. **65.649**

D.M. ROSS-BROWN. Rock mechanics - 1976 annual review. *Mécanique des roches - revue annuelle 1976.* — **Mining Engineering,** 1977, février, p. 73/74.

Mise au point d'un manuel en plusieurs volumes sur la détermination de la stabilité des pentes des gradins dans les exploitations à ciel ouvert. Le 1er volume (sommaire) est disponible, les autres seront publiés en 1977. Deux des aspects principaux de ce manuel sont la théorie de la fiabilité et l'intégration du point de vue stabilité avec le point de vue financier. Applications de la mécanique des roches aux travaux souterrains. Méthodes numériques. Etude de laboratoire et in situ. Développements futurs de la mécanique des roches dans les exploitations souterraines du charbon, les mines métalliques, notamment dans la méthode d'exploitation par blocs foudroyés (block caving), stockage souterrain des déchets nucléaires...

Biblio. : 23 réf.

IND. **D 13** Fiche n. **65.702**

J.H. ATKINSON, D.M. POTTS et Coll. Centrifugal model tests on shallow tunnels in sand. *Essais sur modèles réduits placés dans une centrifugeuse dans le but d'étudier le comportement des tunnels à faible profondeur dans du sable.* — **Tunnels and Tunnelling,** 1977, janvier, p. 59/64, 11 fig.

Description des essais réalisés à l'Université de Cambridge sur modèles réduits, placés dans une centrifugeuse, pour étudier le comportement des tunnels à faible profondeur dans le sable. Les modè-

les avaient 60 mm de diamètre et ils furent soumis à une accélération allant jusqu'à 75 fois l'accélération de la pesanteur. Ces modèles ont permis d'étudier le comportement de tunnels de 4 m de diamètre, construits à faible profondeur dans un sol granuleux sec. Théorie des modèles réduits placés dans une centrifugeuse d'après un livre soviétique de G.T. Pokrovsky et I.S. Fyodorow, traduit récemment en anglais. Description de la centrifugeuse de l'Université de Cambridge, construction des modèles et essais. Répartition des contraintes dans le sol autour des modèles. Discussion des résultats obtenus.

Biblio. : 6 réf.

IND. **D 2220** Fiche n. **65.708**

J.P. JOSIEN. Surveillance de la stabilité d'une excavation par des mesures de déformation. Choix d'une méthode d'alarme. — **Annales des Mines (France),** 1977, mars, p. 51/62, 14 fig.

L'existence d'excavations naturelles ou dues à l'exploitation de ressources minérales, demande la mise en place d'une surveillance dont l'objectif est de prévoir l'évolution de la stabilité et, si nécessaire, de fournir une alarme prévenant de l'approche de l'effondrement. La surveillance est souvent effectuée à partir de mesures de déformations dont il s'agit de définir l'utilisation. La méthode proposée se fonde sur l'existence d'une accélération des déformations peu de temps avant un effondrement. Son but est de déceler au milieu des fluctuations des mesures, le sens général de l'évolution et la variation anormale, indice d'un démarrage du processus de destruction. Un programme ordinateur dont l'organigramme est présenté permet de traiter les mesures et pourrait servir de support à une surveillance automatisée. L'utilisation de la méthode a été testée sur un quartier de mine de fer dans lequel des mesures de convergence ont été effectuées jusqu'au moment de l'éboulement. Plusieurs niveaux d'alarme peuvent être définis à partir de l'évolution observée sur 3 stations de mesure.

Résumé de la Revue.

IND. **D 231** Fiche n. **65.677**

J.T. LANGSTAFF. Hecla's rock burst monitoring system. *Système d'enregistrement des coups de terrain à la compagnie minière Hecla.* — **Mining Congress Journal,** 1977, janvier, p. 46/52, 6 fig., 2 tabl.

Installation d'un réseau de géophones pour la prédiction des coups de terrain dans les mines Star et Lucky Friday (Idaho), où les travaux sont à plus de 1200 m de profondeur. Des recherches ont montré que des roches sous contrainte émettent une énergie sismique détectable, que cette source d'énergie peut être localisée en utilisant une triangulation faisant intervenir les différents temps de parcours des ondes reçues par les stations réceptrices, que le taux de l'énergie sismique libérée augmente avec l'augmentation de la contrainte et que cette augmentation d'activité sismique précède généralement un coup de charge important. Installation et emplacement des géophones dont les signaux sont amplifiés, calcul par ordinateur avec imprimante des coordonnées de la source sismique, de son importance et du nombre d'activités. Exemple d'application à la mine Lucky Friday où, suite à l'augmentation continue de la fréquence d'activité sismique dans un pilier, celui-ci a été détendu par minage. Exemple à la mine Star où plusieurs coups de toit se sont produits et, dans chaque cas, une augmentation importante de l'activité sismique enregistrée a précédé l'éboulement.

Biblio. : 8 réf.

IND. **D 234** Fiche n. **65.664**

J.M. DELBECQ. La sécurité des carrières souterraines abandonnées dans la région Nord - Pas-de-Calais. — **Industrie Minérale,** 1977, mars, p. 129/146.

Dans le département du Nord, la création du service d'inspection des carrières souterraines date de 1966. A. Les missions du service : recherche et localisation des carrières souterraines, relevé des plans des carrières, surveillance, diffusion de l'information. B. L'ampleur des exploitations de carrières souterraines : exploitation dite en galeries et piliers, en « bouteilles », mixtes. C. Recherche des carrières souterraines dans le Nord : par gravimétrie, sondages mécaniques, sondages pénétrométriques, méthode électrique. D. Dangers présentés par l'existence d'anciennes carrières souterraines; type d'éboulement. E. Constructions sur les carrières souterraines : arrêté préfectoral; construction en zone suspecte, saine, sur carrières dangereuses (construction sur pieux, sur radier général, remblai hydraulique, remblai pneumatique). F. Etude de stabilité des carrières souterraines : les objectifs, les méthodes d'approche, l'étude géologique, les mesures in situ, l'analyse d'échantillons en laboratoire, les calculs sur modèle, les résultats.

IND. **D 50** Fiche n. **65.634**

B.N. WHITTAKER et G.J.M. WOODROW. Design loads for gateside packs and support system. *Charges supportées par les épis de remblais le long des voies et les systèmes de soutènement.* — **The Mining Engineer,** 1977, février, p. 263/275, 5 fig., 4 tabl.

On examine comment améliorer la résistance des épis de remblais et leur rôle dans la tenue des voies. Considérations sur la largeur des épis de remblais au point de vue aérage, stabilité et résistance. Influence de la distance du remblai au front de taille pour le contrôle du toit. Influence de la méthode de construction du remblai sur sa résistance. Analyse de la mise en charge des remblais dans le cas de couches en plateure en partant du concept que la charge du bloc de toit au-dessus du remblai et de la voie est reprise par le remblai. Résultats avec un angle de cisaillement de 26° par rapport à la normale à la couche avec une seule rangée de piles, un remblai continu, une double rangée de piles. Influence de l'angle de cisaillement dans le cas d'une double rangée de piles. Résistance des piles de bois et d'un soutènement par étançons et bêles. Analyse de la mise en charge des remblais dans le cas de couches inclinées. Exemples pratiques pour le choix d'un soutènement.

Biblio. : 10 réf.

IND. **D 53** Fiche n. **65.671**

R.L. SODERBERG et D.R. CORSON. Support capabilities of pneumatically stowed materials. *Les possibilités de soutènement des matériaux remblayés pneumatiquement.* — **U.S. Bureau of Mines. Report of Investigations 8202,** 1976, 48 p., 31 fig., 8 tabl.

Le rôle du remblayage dans les exploitations souterraines est de minimiser les affaissements de surface, de réduire les pressions de terrain et d'augmenter le pourcentage d'extraction. Inconvénients du remblayage hydraulique. Remblayage pneumatique : historique, raisons de son déclin dans les mines de charbon en Europe et en Grande-Bretagne, utilisation du remblai pneumatique dans l'industrie minière. Différents essais ont été réalisés pour vérifier l'influence de certains facteurs sur la qualité du remblai : produits utilisés, granulométrie des produits, humidité, poids spécifique du produit, vitesse de sortie, distance de parcours du jet à la sortie de la tuyère, volume d'air et vitesse... Discussion des résultats des essais. Avantages du remblayage pneumatique. Recherches ultérieures.

Biblio. : 27 réf.

IND. **D 60** Fiche n. **65.734**

H. DUDDECH, F. HOLLMANN et Coll. Subway tunnels in areas of mining subsidence in the Ruhr District, Germany. *Galeries de métro en zones d'affaissements miniers en Ruhr, RFA.* — **Tunnelling' 76,** p. 381/390, 24 fig.

La ville de Gelsenkirchen est sujette à des affaissements de terrain, suite à l'exploitation souterraine de charbon. Pour la construction du métro, on a étudié un revêtement de tunnel qui doit être aussi flexible que possible dans la direction de l'axe de la galerie et rigide perpendiculairement à cet axe. La théorie de plasticité a été appliquée pour le calcul des contraintes et des efforts dus aux affaissements miniers.

Biblio. : 8 réf.

IND. **D 63** Fiche n. **65.713**

H.G. KOBLER et C.L. CORRALES. Shotcrete for underground support as used on hydroelectric projects in Costa Rica. *Emploi du béton projeté dans les projets hydro-électriques au Costa Rica.* — **Tunnelling' 76,** p. 69/77, 13 fig., 2 tabl.

Description détaillée de l'utilisation du béton projeté, des techniques d'application durant le creusement du tunnel du projet hydro-électrique de Tapanti (achevé en juin 1974) et du tunnel de dérivation du projet Arenal River (achevé en janvier 1976). Conditions géologiques rencontrées et méthodes de creusement. Emploi du béton projeté pour le revêtement provisoire et définitif; emploi de béton projeté en combinaison avec des cadres métalliques, tôles plates, boulons d'ancrage, filets métalliques. Composition du mélange. Décomposition du prix de revient du creusement du tunnel du projet Tapanti.

IND. **D 63** Fiche n. **65.717**

V.V. RUKIN. Investigations of latex concrete for use in tunnel construction. *Recherches sur du béton au latex pour son utilisation dans les tunnels.* — **Tunnelling' 76,** p. 119/124, 9 fig.

L'action combinée du revêtement et des terrains encaissants est particulièrement importante pour les tunnels sous pression d'eau. Cependant, la transmission des contraintes vers les roches s'accompagne de déformations importantes qui se traduisent par l'apparition de fissures dans le revêtement en béton. Il est possible d'empêcher ces fissures en utilisant un matériau qui aurait plus d'élasticité que le béton traditionnel. L'Institut Orgenergostroy de Moscou a mis au point un latex qui, mélangé en proportion convenable (15 à 20 %) avec le béton, diminue le module de déformation. Description des essais réalisés en laboratoire et des essais in situ réalisés pour le revêtement d'un tunnel sous pression à la station hydro-électrique de Nurek. L'examen des résultats obtenus montre que ce matériau, béton plus additif de latex, permet de réduire l'épaisseur du revêtement et que, grâce à sa plus grande élasticité, il réalise parfaitement la transmission de la pression de l'eau à la roche.

IND. **D 710** Fiche n. **65.730**

M. DEJEAN et J.F. RAFFOUX. Mining drifts and tunnels : role of rockbolting and parameters in its selection. *Galeries minières et tunnels : rôle du boulonnage et paramètres de sélection.* — **Tunnelling' 76,** p. 321/327, 5 fig., 1 tabl.

Emploi croissant des techniques de boulonnage, et notamment des boulons à la résine, dans les mines de fer et de charbon françaises. Evolution de la consommation de boulons de 1969 à 1974. Le rôle du boulonnage tant en exploitation minière qu'en travaux de génie civil. Paramètres du choix du boulonnage : caractéristiques mécaniques et lithologiques du terrain, choix de la longueur, diamètre, type d'ancrage, type de boulon, densité de boulonnage. Résumé des précautions à prendre pour le boulonnage.

Biblio. : 4 réf.

IND. **D 73** **Fiche n. 65.687**

F. SCHNEIDER et G. BUTTNER. Synthèse sur la consolidation au polyuréthane dans un creusement de voie en couche. — **Charbonnages de France. Publications Techniques,** 1976, n° 6, p. 327/332, 3 fig.

Extraits des « Kurznachrichten » du Steinkohlenbergbauverein (n° 87, 89, 91, 92, 94, 96). Diverses utilisations du polyuréthane dans les travaux : I. Dans un creusement de voie de déblocage (15,8 m^2 de section) montante, le charbon du front de taille avait tendance à couler. Pour consolider, avant chaque volée, foration de 7 trous obliques et injection de résine. Economie : 880 DM/m, avancement porté de 2,4 m/jour à 4 m. II. Dans une zone dérangée (bowette de 25 m^2 de section), incidents divers. On en vint à construire 2 barrages en « Blitzdämmer », le second servant de culée, puis à injecter du polyuréthane. III. Dans une taille à soutènement bouclier, des éboulements survinrent. On fora des trous dans le massif et le toit avec injection de polyuréthane. Tout redevint normal. IV. Extrémités de taille, toujours difficile; on pratique l'injection de polyuréthane. V. L'emploi du polyuréthane ne favorise pas la combustion spontanée du charbon. VI. Consolidation d'une voie au charbon.

Résumé de la Revue.

E. TRANSPORTS SOUTERRAINS

IND. **E 252** Fiche **65.651**

R.B. FERMOR. A study of the factors present in planning the ventilation needs of Diesel vehicles in operating mines in Quebec. *Une étude des facteurs à prendre en considération pour la calcul des besoins en air des engins Diesel employés dans les mines du Quebec.* — **C.I.M. Bulletin,** 1977, février, p. 55/61, 5 fig., 2 tabl.

Pour réduire les effets nocifs des gaz d'échappement des engins Diesel employés dans les mines souterraines, il est important que la concentration de ces gaz soit maintenue à un taux acceptable dans toutes les parties de l'exploitation. Enumération des moyens pour réduire la pollution due aux gaz d'échappement : choix du type de moteur, recyclage d'une partie des gaz d'échappement, épuration de ces gaz par lavage à l'eau, refroidissement et dilution des gaz, épuration d'oxycatalyse. Classification des mines souterraines en 3 classes suivant les difficultés des problèmes d'aérage; statistiques pour ces 3 classes. Détermination des débits d'air. Choix et implantation des ventilateurs.

Biblio. : 4 réf.

F. AERAGE — ECLAIRAGE HYGIENE DU FOND

IND. **F 123** Fiche n. **65.699**

A.J. PICKERING et R. ALFRED. Controlled recirculation of ventilation - a means of dust control in face advance headings. *Recyclage contrôlé de l'air - un moyen de contrôle des poussières dans les voies en avance sur les tailles.* — **The Mining Engineer,** 1977, mars, p. 329/345, 6 fig., 6 tabl.

Le rôle de l'aérage secondaire dans les voies en avance sur la taille est de diluer le grisou et d'avoir de bonnes conditions d'environnement (chaleur, humidité, poussières). Description des systèmes d'aérage secondaire avec recyclage de l'air. Théorie du recyclage et calcul des concentrations en grisou et poussières. Essais de recyclage contrôlé dans les voies d'entrée et de retour d'air des chantiers avec enregistrement des résultats (poussières, grisou). Présentation des résultats. On constate que, dans les voies de retour d'air, il est parfois nécessaire d'intercaler un système de filtration des poussières.

Biblio. : 13 réf.

IND. **F 40** Fiche n. **65.685**

M. GANIER et C. FROGER. Influence de l'humidité du charbon sur le dégagement de poussière dans la mine. Application à la lutte contre les poussières. — **Charbonnages de France. Publications Techniques,** 1976, n° 6, p. 307/314, 6 fig.

Travaux du Cerchar. Note sur l'étude au laboratoire de la capacité de dégagement de poussières de charbons d'origines diverses à divers taux d'humidité

naturelle variant de 2 à 9,4 %. Réduction notable de cette capacité pour une humidité naturelle de 5-6%, considérable pour 9% (2 à 6 fois moindre), indépendamment du rang du charbon. Une addition de 3 % d'eau au charbon réduit considérablement le dégagement de poussières (on suppose que l'humidité naturelle est absorbée, tandis que l'eau ajoutée reste en surface). Recommandation d'ajouter 3 % d'eau au charbon, quelle que soit son humidité naturelle, avec répartition homogène, pour réduire le dégagement de poussières (infusion-pulvérisation par grêleurs, etc.).

Résumé de la Revue.

IND. **F 63** Fiche n. **65.686**

M. GOZE et M. GUGLIELMI. Les installations de détection de CO aux Houillères d'Aquitaine. — **Charbonnages de France. Publications Techniques,** 1976, n° 6, p. 315/322, 5 fig.

Historique des essais faits de 1967 à 1973 pour contrôler la teneur en oxyde de carbone de l'atmosphère du fond (retours d'air), puis en 1975, afin de multiplier les contrôles pour prévention de feux de mine. Puis les appareils de mesures ont été reportés à la salle de télévigile du jour, où se trouvent aussi les appareils d'enregistrement, ce qui facilite les dépannages et les enregistrements. Indications sur les éléments de l'installation; schéma de l'installation de l'Unor multidirectionnel et liste de son matériel.

Résumé de la Revue.

G. EPUISEMENT

IND. **G 02** Fiche n. **65.682**

J.B. BIRON et J.C. WATHELET. Recherches pour l'implantation de puits en nappe calcaire. — **Hydrographica,** 1977, n° 1, p. 5/22, 7 fig., 5 tabl.

La recherche pour l'implantation de nouveaux puits dans le calcaire implique la bonne connaissance et la localisation des zones de fissures qui caractérisent ce type d'aquifère. L'étude des transmissivités par les tests de pompage est une aide précieuse dans cette recherche, étant donné que les variations de celles-ci traduisent le degré de fissuration des diverses zones du massif calcaire et permettent de les localiser. Les 2 exemples présentés mettent ce caractère en évidence. Le premier, à Moustier, consiste en un pompage d'essais à un seul palier de débit avec relevé sur un ensemble de piézomètres et complété par une petite campagne de géophysique. Le second, à Ciney, consiste en un pompage d'essais alternativement sur 2 puits à différents paliers de débit avec relevé des influences réciproques. L'emploi de la géophysique semble être le complément le mieux adapté à une localisation correcte et optimale des puits d'exploitation.

IND. **G 20** Fiche n. **65.684**

J.J. DELBRASSINNE. Les captages en carrières à la Société Nationale des Distributions d'Eau. — **Hydrographica,** 1977, n° 1, p. 39/54, 1 fig., 8 tabl.

Importance des captages en carrières, qui sont tous situés dans la région francophone du pays : 1) par rapport à l'ensemble des captages S.N.D.E. (8 sur 176 soit 5 % du total des captages et 8 sur 123, soit 7 % pour la partie francophone); 2) par rapport à l'exhaure, des carrières actives, non utilisée en distribution d'eau. Détail de l'exhaure en carrières actives en 1975. Types de carrières utilisées comme captage. Types de captages réalisés. Qualité de l'eau : traitements réalisés en dehors de la chloration, les divers dangers de pollution à craindre pour les captages en carrières. Quelques commentaires sur l'arrêté royal du 15-7-1976 réglementant les prises d'eau souterraines effectuées dans les travaux des mines et des carrières. Perspectives d'avenir en vue de l'utilisation de l'eau de captage en carrières.

H. ENERGIE

IND. **H 9** Fiche n. **65.681**

A. CLOT. La géothermie « basse énergie ». — **La Recherche,** 1977, mars, p. 213/223, 9 fig.

La géothermie « basse énergie » s'intéresse aux aquifères dans les zones à gradient géothermique normal et le problème est alors de valoriser les nombreux gisements d'eau chaude dont la température est au moins actuellement insuffisante pour fournir directement de l'énergie électrique dans des conditions économiques acceptables (si c'était le cas, on aurait affaire à la géothermie « haute énergie »), mais dont l'exploitation présente cependant, a priori, de nombreuses applications : chauffage urbain et industriel, chauffage des serres, piscines... Evaluation des ressources géothermiques d'une région : cas de la France. Interprétation des données fournies par les sondages. Potentiel d'exploitation d'un réservoir : ses possibilités de production dans le temps, l'incidence d'une réinjection d'eau froide sur la température du puits de production. Exploitation des réservoirs géothermiques par forage. Application de la géothermie basse énergie au chauffage urbain : frais d'investissement élevés, coûts d'exploitation faibles; réalisations en France.

Biblio. : 5 réf.

I. PREPARATION ET AGGLOMERATION DES COMBUSTIBLES

IND. **I 10** Fiche n. **65.659**

G.R. HOEY, W. DINGLEY et Coll. Corrosion behaviour of various steels in ore grinding. *Le comportement à la corrosion de divers aciers utilisés dans le broyage des minerais.* — **C.I.M. Bulletin,** 1977, février, p. 105/109, 3 fig., 3 tabl.

Dans un broyeur de laboratoire, on a comparé l'usure de 6 types de boulets (1 en acier forgé, 3 en fonte blanche et 2 en acier inoxydable) avec ou sans inhibiteur de corrosion (sulfite de soude). Description des essais. Broyage des minerais sulfurés de Ni-Cu et l'hématite. Pour les minerais sulfurés, on constate avec l'inhibiteur de corrosion une réduction du taux d'usure de 60 % pour l'acier forgé, de 40 à 50 % pour les fontes blanches et de 1 à 5 % pour les aciers inoxydables. Avec l'hématite, la réduction du taux d'usure est moindre et peut même être négative avec l'acier inoxydable. On a constaté que le taux de corrosion et le potentiel électrochimique des boulets sont liés.

Biblio. : 10 réf.

IND. **I 11** Fiche n. **65.475**

B.J. KLEE. Why particle size measurement is key to increased grinding tonnage. *Pourquoi le calibrage des particules augmente le tonnage broyé.* — **World Mining,** 1976, décembre, p. 30/35, 9 fig.

Ce système de mesure du calibre des particules (PSM) permet de réaliser un broyage optimum pour la récupération des minerais. Il est constitué de 3 parties : 1. L'éliminateur d'air enlève l'air entraîné dans l'échantillon des slurries, par un dispositif de centrifugation, avant de mesurer le calibre des particules. 2. La 2ème partie est constituée de 2 paires de capteurs, dont chaque paire consiste en un émetteur et un récepteur fonctionnant à une fréquence ultrasonique différente, mais fixée; de très faibles impulsions sont transmises dans l'écoulement des particules, 500 fois/s. La quantité d'énergie perdue provoquée par le nombre de particules par unité de volume et la quantité par le diamètre des particules sont mesurées par les 2 paires de capteurs. Le grand nombre de mesures faites par seconde supprime l'influence de l'orientation des particules par rapport à la source d'énergie ultrasonique sur la précision des mesures. 3. La 3ème partie est l'électronique pour les capteurs.

Biblio. : 22 réf.

IND. **I 44** Fiche n. **65.662**

N.P. CHIRONIS. Thickener with novel configuration saves space and costs in preparation plants. *Un épaississeur de conception nouvelle économise l'espace et les frais de fonctionnement dans les installations de préparation.* — **Coal Age,** 1977, janvier, p. 114/118, 5 fig, 3 tabl.

Suite aux nouvelles lois fédérales concernant la décharge des eaux de lavoir et aux difficultés d'obtention d'une autorisation pour l'installation de nouveaux bassins de décantation, on utilise un épaississeur « Lamella » pour la clarification des eaux de lavoir de charbon. Bref rappel des notions de décantation par gravité dans des bassins; vitesse de parcours, vitesse de décantation, relation entre ces vitesses et application de ces notions à l'épaississeur « Lamella ». Dans celui-ci, l'eau à clarifier parcourt en montant une série de cellules en parallèle, d'inclinaison et d'intervalle bien déterminés (par exemple, cellules de 0,60 m de largeur et de 3 m de longueur, espacées de 50 mm et inclinées de 45 à 55°). La vitesse de l'eau chargée est inférieure à la vitesse de décantation des particules de charbon. Le produit décanté est épaissi à la base par un vibrateur de faible amplitude et l'eau clarifiée déborde à la partie supérieure. Résultats obtenus. Schéma d'un épaississeur « Lamella » et schéma d'un lavoir avec l'épaississeur « Lamella ».

IND. **I 44** Fiche n. **65.674**

D.K. COOPER. Choosing closed circuits for coal preparation plants. *Choix d'un circuit des eaux fermé pour un lavoir à charbon.* — **Mining Congress Journal,** 1977, janvier, p. 19/23, 3 fig., 1 tabl.

Après avoir donné la définition d'un circuit fermé des eaux de circulation d'un lavoir, on examine les caractéristiques d'un « bon » circuit : 1) la séparation optimale entre solides et liquides; 2) l'eau clarifiée doit être réutilisable dans le circuit; 3) les produits solides sont facilement transportables; 4) à aucun moment il ne faut purger le circuit pour amener de l'eau « fraîche »; 5) les frais d'investissement et de fonctionnement doivent être peu élevés. Etude d'un circuit : des essais préalables de mélanges des différents refus du lavoir (des plus gros aux plus fins) ont montré que la teneur en H_2O du mélange devait être comprise entre 10 et 13 % pour qu'il puisse être entreposé sans aucun danger. Présentation de 5 options, avec indication de la teneur en H_2O et des frais d'investissement qui augmentent fortement avec la diminution de la teneur en humidité du mélange des stériles (flow-sheet de chacune des 5 options). Présentation plus détaillée avec flow-sheet du projet retenu.

IND. **I 9** Fiche n. **65.692**

W. MARNETTE et H. WINTERHAGER. Untersuchung zur Verarbeitung von Manganknollen im

Plasmaofen. *Recherches sur le traitement des nodules de manganèse dans les fours à plasma.* — **Erzmetall,** 1977, février, p. 43/51, 16 fig., 6 tabl.

Le traitement pyrométallurgique des nodules de manganèse par des réactions gaz-solides peut être effectué sous les conditions du plasma thermique. A cette occasion, les métaux : fer, cuivre, cobalt et nickel sont convertis en un alliage qui peut être séparé de la scorie riche en manganèse. Les réacteurs à réduction employés sont un réacteur à plasma induit, un réacteur à électrodes de carbone et un réacteur à plasma à lit fluidisé.
Biblio. : 52 réf. Résumé de la Revue.

IND. **I 9** Fiche n. **65.693**

D. NEUSCHÜTZ, U. SCHEFFLER et Coll. Verfahren zur Aufarbeitung von Manganknollen durch schwefelsaure Drucklaugung. *Procédé pour le traitement des nodules de manganèse par lessivage sous pression à l'acide sulfurique.* — **Erzmetall,** 1977, février, p. 61/67, 8 fig., 4 tabl.

Un procédé complet a été mis au point pour le traitement des nodules de manganèse et des essais ont été réalisés en laboratoire. L'extraction des nodules a été faite par un lessivage sous pression à l'acide sulfurique à une température de 200° C qui a dissous sélectivement le nickel, le cuivre, le cobalt et le zinc du fer et du manganèse. Les métaux sont alors séparés et récupérés par un procédé combinant l'échange d'ions et la précipitation. L'estimation des coûts permet de conclure que, malgré les incertitudes concernant les frais d'exploitation des nodules et des futurs prix des métaux, la récupération des nodules de manganèse a des chances d'être économiquement réalisable par ce procédé de lixiviation sous pression à l'acide sulfurique.
Biblio. : 9 réf.

IND. **J 12** Fiche n. **65.675**

W.K. MARLATT. High capacity belt conveyors. *Convoyeurs à courroie de grand débit.* — **Mining Congress Journal.** 1977, janvier, p. 24/28, 8 fig.

Examen des convoyeurs à courroie de grand débit utilisés en exploitation minière. Un convoyeur à courroie est dit à grand débit quand celui-ci est au moins de 5000 t/h; il est à grande vitesse quand celle-ci est au minimum de 230 m/min. Les 2 éléments de base contrôlant le débit d'un convoyeur à courroie sont la vitesse et la largeur de la courroie. On analyse les valeurs limites de ces 2 facteurs ainsi que le problème du transfert des produits d'une courroie sur une autre et spécialement pour des vitesses supérieures à 360 m/min où il peut se produire des engorgements au point de chute; examen des vitesses critiques. Problèmes de la conception, de la construction et de la disposition des rouleaux porteurs et des poulies pour les courroies à câble d'acier. Commande des courroies à grande vitesse : couple de démarrage durant l'accélération, système de commande intermédiaire permettant des longueurs de courroie plus grandes en réduisant la tension de la courroie et réduisant également les coûts électriques.
Biblio. : 7 réf.

Q. ETUDES D'ENSEMBLE

IND. **Q 1101** Fiche n. **65.835**

R.G. WILSON. Estimating the potential of a coal basin. *Estimation du potentiel d'un bassin houiller.* — **Coal Exploration,** 1976, p. 374/400, 18 fig.

L'évaluation du potentiel d'un bassin houiller nécessite différentes études géologiques et d'ingénierie et de nombreux facteurs sont à prendre en considération. Dans cet article, l'auteur étudie le facteur : évaluation géologique régionale. Le but d'une évaluation géologique régionale est d'estimer : les tonnages probables maxima et minima, la qualité probable du charbon et ses variations, les grandes variations de l'ouverture des couches, les pentes moyennes des différentes couches et le degré de régularité du gisement, la profondeur à laquelle se trouvent les couches de charbon et la proportion de charbon exploitable à ciel ouvert et souterrainement. C'est à partir de ces informations que les ingénieurs et les économistes pourront commencer l'étude de l'évaluation préliminaire du bassin houiller. Type de charbon et facteurs géologiques l'influençant. Rang du charbon et facteurs géologiques l'influençant. Environnement tectonique et sédimentaire des couches de charbon et leur influence sur la nature du gisement. Méthodes de prospection régionale.
Biblio. : 23 réf.

IND. **Q 134** Fiche n. **65.695**

X. Brazil's busy phosphate industry - new discoveries, new mines planned. *L'industrie du phosphate au Brésil - nouvelles découvertes, nouvelles mines.* — **World Mining,** 1977, février, p. 46/49, 2 fig., 1 tabl.

Les gisements de phosphate, au Brésil, appartiennent à 5 classes géologiques principales : les gisements primaires et secondaires d'origine volcanique, les gisements à structure stratifiée et plissée d'origine sédimentaire marine et les gisements contenant presque exclusivement des minéraux de phosphate d'aluminium, d'origine incertaine et d'histoire géolo-

gique inconnue. Répartition géographique de ces gisements. D'après la consommation actuelle et si la consommation continue à croître à un taux de 10 % l'an, ainsi que d'après l'estimation des réserves, l'exploitation de phosphates sera possible jusqu'en l'an 2000. L'exploitation actuelle de phosphates est localisée dans 2 régions où 2 mines sont en exploitation. Mines en préparation.

IND. **Q 4** Fiche n. **65.706**

M.F. VALLS. Industrie et réglementation minière en Amérique latine. — **Annales des Mines (France),** 1977, mars, p. 39/46.

Après avoir rappelé l'importance et les caractères généraux de l'industrie minière en Amérique latine, l'auteur, dans une seconde partie, donne les principales caractéristiques de la législation minière dans ce sous-continent : héritière des réglementations espagnoles et portugaises, cette législation a évolué vers un accroissement du contrôle de l'état allant dans bien des cas jusqu'à la nationalisation. La troisième partie est consacrée aux perspectives d'évolution : les états auront tendance à intervenir directement dans l'activité minière, mais ils souhaiteront généralement aussi voir intervenir des entreprises privées dans des conditions bénéfiques pour l'état. Cela doit entraîner une modification du rôle des administrations des mines dont les compétences ne devront plus être seulement juridiques mais également techniques et économiques, afin de pouvoir négocier avec ces entreprises privées les conditions de leur intervention.

Résumé de la Revue.

R. RECHERCHES — DOCUMENTATION

IND. **R 126** Fiche n. **65.680**

X. Advancing coal mining technology research, development and demonstration in fiscal year 1977. *Recherche, développement et démonstration de technologie avancée dans l'exploitation du charbon pour l'année fiscale 1977.* — **US Bureau of Mines. Information Circular 8730,** 1977, 13 p.

La politique de l'US Bureau of Mines est d'utiliser autant que possible les possibilités du secteur privé dans la recherche minière. Description du programme de recherche en technologie minière avancée pour l'année fiscale commençant le 1er octobre 1976 et se terminant le 30 septembre 1977. Ce programme de recherche a comme but d'augmenter, tant dans les mines de charbon souterraines que dans les mines de surface, la productivité tout en respectant les impératifs suivants : sécurité et santé des travailleurs, protection de l'environnement, maximaliser le taux de récupération du charbon, améliorer l'économie de la production charbonnière. Pour chaque sujet de recherche, description du problème, du but et description proprement dite de la recherche.

Communiqués

International Symposium Tunnelling '79, Londres, mars 1979.

L'Institution of Mining and Metallurgy, en association avec la British Tunnelling Society, l'Institution of Mining Engineers et le Transport and Road Research Laboratory, organise le deuxième symposium international, Tunnelling '79, au Cunard Hotel, Londres, du 12 au 16 mars 1979.

Le thème de ce symposium est la conception et la construction de tunnels dans les travaux miniers et de génie civil.

Les rapports traiteront des développements pratiques en matière de sécurité, technologie et coût de tous les types de construction de tunnels. Le programme des séances techniques inclut les principaux sujets ci-après :

- Méthodes et engins de creusement de tunnels
- Revêtement et soutènement
- Recherches relatives au sol
- Services auxiliaires
- Projets réalisés.

Les rapports seront distribués aux participants en janvier 1979.

Au cours de la semaine du 19 mars, des visites in situ seront organisées dans les tunnels au Royaume-Uni et en Europe.

Une exposition sur le creusement des tunnels aura lieu à Londres en même temps que le Symposium. Les demandes de location d'emplacement doivent être adressées à : Christopher Bradley, Ltd., 78 Vineyard Hill Road, Wimbledon Park, London SW 19 7JJ.

Une deuxième circulaire, contenant la liste des conférences et les détails sur les excursions et le programme réservé aux dames, sera distribuée au printemps 1978. Pour la recevoir, prière de s'adresser à : The Secretary, Institution of Mining and Metallurgy, 44 Portland Place, London W1N 4 BR.

Vème Symposium International du Sel, 1978, Hambourg.

Un nombre impressionnant d'experts connus, venant du monde entier, a promis sa participation au Vème Symposium International du Sel qui aura lieu du 29 mai au 1er juin 1978 à Hambourg. Au cours de cette manifestation, 129 communications seront présentées. La plus grande contribution sera donnée par la République Fédérale d'Allemagne, avec 46 exposés, suivie de près par les Etats-Unis, avec 32 rapports. La France et l'URSS seront représentées chacune à raison de 10 exposés, la Grande-Bretagne avec 8, les Pays-Bas avec 7, la République Démocratique Allemande, la Suisse, le Canada, les Indes, à raison de 4 exposés par pays.

Voici la répartition entre les différentes sections.

- Géologie, tectonique, minéralogie, géochimie : 30 exposés,
- Exploitation minière, géophysique, mécanique des roches ; droit minier et règlements : 33 exposés,
- Exploitation par dissolution ; création de cavités, utilisation des cavités, stockage souterrain : 22 exposés,
- Evaporation solaire, évaporation thermique ; production de sel et technologie ; dessalage de l'eau de mer ; produits résiduaires : 23 exposés,
- Marchés du sel, alimentation et autres usages ; questions relatives à l'environnement ; divers : 21 exposés.

Le Symposium a pour but de promouvoir l'échange international des expériences et de rendre publics les résultats les plus nouveaux de la recherche et des progrès techniques.

Pour tous renseignements complémentaires, veuillez vous adresser à : Kaliverein e.V., Postfach 32 66, D-3000 Hannover 1, République Fédérale d'Allemagne.

3rd TECNOMIN, Lima, 1978.

La troisième exposition minière mondiale « 3rd Tecnomin » aura lieu à Lima, Pérou, du 3 au 12 novembre 1978. Pour renseignements complémentaires, prière de s'adresser à : M. G. Ferreyros, International Promotions Manager, FERIA Internacional del Pacifico, Apartado (POB) 4900, Lima 32, Pérou.

Imprimerie Robert LOUIS, s.p.r.l., rue Borrens 35-43, 1050 Bruxelles
Drukkerij Robert LOUIS, p.v.b.a., Borrensstraat 35-43, 1050 Brussel